

RODRIGO KERN

**MÉTODO DE REGIONALIZAÇÃO PARA AVALIAR A ENERGIA
GARANTIDA INCREMENTAL DE PEQUENAS CENTRAIS
HIDRELÉTRICAS A FIO DE ÁGUA INTEGRADAS NA REGIÃO SUL
DO BRASIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em Engenharia de
Recursos Hídricos e Ambiental, da
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Heinz Dieter O. A. Fill.

Curitiba
2010

TERMO DE APROVAÇÃO

RODRIGO KERN

**MÉTODO DE REGIONALIZAÇÃO PARA AVALIAR A ENERGIA GARANTIDA
INCREMENTAL DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS A FIO DE ÁGUA
INTEGRADAS NA REGIÃO SUL DO BRASIL**

**Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e
Ambiental da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca
examinadora:**

Presidente:

Prof. Heinz Dieter Oskar August Fill
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
UFPR

Membros:

Prof. Eloy Kaviski
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
UFPR

Prof. Marcelo Bessa
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
UFPR

Prof. Cláudio Krüger
UNIVERSIDADE POSITIVO



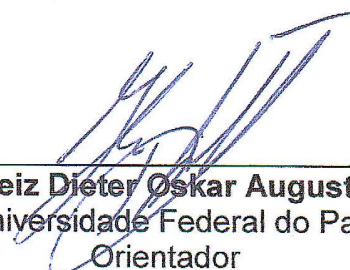
TERMO DE APROVAÇÃO

RODRIGO KERN

**“MÉTODO DE REGIONALIZAÇÃO PARA AVALIAR A ENERGIA GARANTIDA
INCREMENTAL DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS A FIO DE ÁGUA
INTEGRADAS NA REGIÃO SUL DO BRASIL”**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

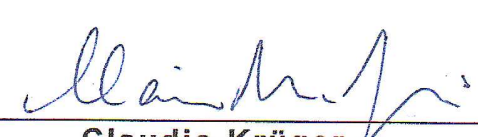


Heiz Dieter Oskar August Fill
Universidade Federal do Paraná
Orientador

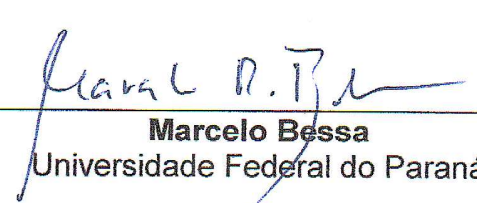
MEMBROS:



Eloy Kaviski
Universidade Federal do Paraná



Claudio Krüger
Universidade Positivo



Marcelo Bessa
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 22 de março de 2010

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho só pôde ser realizada graças ao apoio de muitas pessoas. Nas curtas linhas próximas, as quais são ínfimas para descrever minha gratidão, expresso meus sentimentos.

Ao meu orientador, Professor PhD. Heinz Fill, o qual, desde a primeira vez em que estive em sua casa para solicitar que me orientasse, foi de uma gentileza e paciência ímpar, sem contar sua inteligência e notável sabedoria na área, o que me faz sentir muito honrado em ter sido seu orientado.

Ao meu pai, como meu chefe, mestre e colega de profissão, o qual, além de proporcionar a minha liberação da RTK Consultoria para este aperfeiçoamento, foi de uma paciência enorme ao me ajudar em inúmeras dúvidas na teoria e programação computacional.

À toda minha família, em especial a meu pai e minha mãe, os quais me ajudaram muito psicologicamente e afetivamente durante os difíceis períodos durante este processo.

À minha irmã Carol, que aceitou minha companhia em sua casa em Curitiba de braços abertos e por todo seu carinho.

À coordenação do curso, em nome da Professora Maria Cristina Braga e do professor Cristóvão Fernandes, os quais, no momento em que tive problemas de saúde, confiaram e acreditaram em mim, sendo de uma gentileza e compreensão sem palavras.

Por fim, à minha namorada, Bianca, que entendeu a distância e sacrifícios, sendo fundamental em todas as horas de aflição, me encorajando através de seu amor e amizade.

A vida é uma sucessão de processos físicos e mentais que modificam as pessoas a cada momento. Hoje eu não sou o mesmo que ontem.

(Buda)

RESUMO

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), por questões políticas, econômicas e ambientais estão crescendo dentro do cenário de produção energética brasileira. Este crescimento torna crucial uma correta avaliação de sua contribuição energética. A ANEEL propõe calcular a energia assegurada de uma PCH através da média das vazões médias mensais censuradas no engolimento máximo da turbina. Contudo, a grande maioria das PCHs não possui reservatórios capazes de regularizar vazões na escala mensal, de modo que a censura deva ser na escala diária. Além disso, ao se estipular de 30 anos ou mais, sempre a série chegando a dois anos anteriores a data do projeto, para calcular a energia assegurada, obtém-se valores superiores aos quais a PCH poderia gerar durante o período crítico do sistema interligado. Ainda, o uso da diferença das energias firme ou garantida obtidas entre simulações do sistema com e sem a usina em questão, que a ANEEL define como a energia garantida incremental, não é adequado para o caso de PCHs. Logo, um método alternativo se faz necessário, caso contrário, poderá acarretar, dentro de alguns anos, um aumento significativo no risco de déficit para o sistema. Fill (1989) propôs uma fórmula matemática para o cálculo da energia garantida incremental de usinas hidrelétricas integradas, baseado na teoria estocástica dos reservatórios e que usa parâmetros estatísticos das afluições à usina e das energias naturais do sistema, que são média e desvio padrão das energias médias anuais turbináveis da usina e o coeficiente de correlação dessas afluições com as do sistema interligado. No caso de PCHs, as energias turbináveis resultam do produto das vazões diárias afluentes pela produtividade da usina, limitado pela motorização desta (energias naturais censuradas), em um local qualquer definido pela localização geográfica da usina.

Como a maioria das PCHs não dispõe de séries de vazões diárias no local e tendo em vista a notória dificuldade de transferência espacial de vazões diárias, o método proposto consiste em gerar séries de vazões diárias no local da usina, censurá-las e determinar os parâmetros da fórmula proposta por FILL (1989). Para a geração das séries sintéticas de vazões diárias utilizou-se o modelo *Second Order Shot-Noise* com parâmetros regionalizados. Um caso exemplo é apresentado, sendo o resultado comparado com o método proposto pela ANEEL.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Garantida Incremental, Pequenas Centrais Hidrelétricas, método de regionalização, séries sintéticas de vazões médias diárias.

ABSTRACT

Construction of small hydroplants, due to political, economical and environmental concerns is growing fast within the Brazilian electric energy generation system. This growth makes the correct evaluation of their energy contribution a crucial issue. ANEEL proposes to compute the guaranteed energy of small hydroplants using the average of mean monthly energy inflows, censored by the plant capacity. However most small hydroplants do not have reservoirs able to regulate monthly flows so that the censoring should be on a daily scale. Also when using averages over 30 years, as proposed by ANEEL, the energy output will be greater than that which can be generated within the critical period. Therefore an alternative method should be used, based on daily flows and stochastic criteria in order to maintain the risk of energy shortage constant. Fill (1989) proposed a formula for the incremental guaranteed energy of hydroplants based on stochastic reservoir theory, using statistical parameters of the plant natural energy inflow (mean, variance and correlation coefficient), censored at the plant capacity on a daily basis.

Most small hydroplants do not have at site observed flows and in view of the notorious difficulties in transferring daily flows, this thesis proposes to generate synthetic daily flow series, converting these into natural energy, censoring them at the plant capacity and determine the parameters needed for the formula proposed by Fill (1989). For the generation of synthetic series of daily flows the Second Order Shot Noise model (SOSN) with regionalized parameters was used. An example case is presented and the result is compared to that obtained by the method proposed by ANEEL.

Key Words: Small hydroplants, Stochastic daily streamflow models, Regionalization, Guaranteed energy.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE FIGURAS	XII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2. OBJETIVOS DO ESTUDO	5
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	8
2.2. HISTÓRICO E CONCEITOS BÁSICOS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	9
2.3. CENSURA E TRUNCAMENTO	11
2.4. FÓRMULA DE FILL	13
2.5. VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS	25
2.5.1. Modelagem Estocástica de Vazões Médias Diárias	26
2.5.2. Modelo SHOT-NOISE	28
2.5.2.1. <i>Embasamento Teórico</i>	28
2.5.2.2. <i>Geração de dados Sintéticos</i>	35
2.5.2.3. <i>Shot Noise de 2ª Ordem</i>	36
2.5.2.4. <i>Ajuste dos Parâmetros do “Show Noise” de Segunda Ordem – SOSN</i>	37
2.5.3. Modelo DIANA	39
2.5.3.1. <i>Fundamentação Teórica</i>	39
2.5.3.2. <i>Geração de Séries</i>	43
2.5.3.3. <i>Estimação dos Parâmetros</i>	44
2.6. CRITÉRIO DA ANEEL PARA ENERGIA ASSEGURADA	47
3. MÉTODO DE PESQUISA	51
3.1. ANÁLISE DO ANO HIDROLÓGICO E SAZONALIDADE	52
3.2. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS CHAVE	53
3.3. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS	54
3.4. ESTATÍSTICAS DA SÉRIE HISTÓRICA DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS CHAVE	54
3.5. MODELOS ESTOCÁSTICOS DE GERAÇÃO DE VAZÕES SINTÉTICAS DIÁRIAS SOSN E DIANA	56

3.5.1. Algoritmo de Geração SOSN (WEISS,1977)	56
3.5.1.1. <i>Estimação dos Parâmetros – Programas VAZDIARIO e SOSN1</i>	57
3.5.1.2. <i>Geração de vazões médias diárias – Programa SOSN2</i>	58
3.5.2. DIANA (KELMAN, 1983)	60
3.5.2.1. <i>Estimação dos parâmetros - Programas VAZDIARIO e DIANA1</i>	60
3.5.2.2. <i>Geração de vazões médias diárias – Programa DIANA2</i>	61
3.6. ESCOLHA DO MODELO	62
3.6.1. Resultados para escolha do Modelo	69
3.7. ÁREA DE ESTUDO	79
3.8. REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS	84
3.8.1. Regressão Múltipla OLS – Ordinary Least Square	84
3.8.2. Variáveis Independentes	87
3.8.3. Testes de Significância das Regressões Lineares Múltiplas	88
3.8.4. Interpolação Espacial	93
3.8.4.1. <i>IDW</i>	93
3.8.4.2. <i>Krigagem (Kriging)</i>	94
4. RESULTADOS	103
4.1. ESTATÍSTICAS PARA ESTIMAÇÃO E PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO SOSN PARA AS ESTAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO	103
4.2. VARIÁVEIS INDEPENDENTES	108
4.3. REGRESSÃO MÚLTIPLA E INFERÊNCIAS ESTATÍSTICAS	111
4.3.1. Parâmetro b_1	111
4.3.2. Parâmetro b_2	115
4.3.3. Parâmetro θ_1	119
4.3.4. Parâmetro θ_2	123
4.3.5. Parâmetro v_{12}	127
4.4. INTERPOLAÇÃO ESPACIAL	131
5. ESTUDO DE CASO	134
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA PCH PAINEL	134
5.2. COMPARAÇÃO ENTRE AS SÉRIES GERADAS E A HISTÓRICA	137
5.3. CÁLCULO DA ENERGIA GARANTIDA INCREMENTAL	139
5.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	143
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	145
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1. – VALOR ESPERADO DE ASSIMETRIA	19
TABELA 2.2. – DESVIO PADRÃO DA ASSIMETRIA	19
TABELA 2.3. – COEFICIENTES PARA O CÁLCULO DA ENERGIA GARNTIDA INCREMENTAL. DISTRIBUIÇÃO LN 3	21
TABELA 2.4. - LOCAIS ESTUDADOS	24
TABELA 2.5 – ENERGIAS ASSEGURADAS (ANA E ANEEL) E GARANTIDA INCREMENTAL (FILL, 1989) – MWmédio	24
TABELA 3.1.a. - DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES CHAVE	53
TABELA 3.1.b. - DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES CHAVE	53
TABELA 3.2. - DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES CHAVE PLUVIOMÉTRICAS	69
TABELA 3.3. - ESTAÇÃO ABELARDO LUZ – RIO CHAPECÓ/SC	70
TABELA 3.4. - ESTAÇÃO PASSO MAROMBAS – RIO MAROMBAS/SC	72
TABELA 3.5. - ESTAÇÃO RIO DOS PATOS – RIO DOS PATOS/PR	74
TABELA 3.6. - ESTAÇÃO SANTA CLARA – RIO JORDÃO/PR	76
TABELA 3.7. - ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E PLUVIOMÉTRICAS	80
TABELA 4.1. – ESTATÍSTICAS DE ESTIMAÇÃO	104
TABELA 4.2. – PARÂMETROS DO MODELO SOSN	106
TABELA 4.3. – VARIÁVEIS INDEPENDENTES	109
TABELA 4.4. – ESTAÇÕES DESCARTADAS	111
TABELA 4.5. – COEFICIENTES DA REGRESSÃO	112
TABELA 4.6. – PARÂMETRO b_1 OBSERVADO E O ESTIMADO	112
TABELA 4.7. – INFERÊNCIA ESTATÍSTICA SOBRE A REGRESSÃO DE b_1	115
TABELA 4.8. – ESTAÇÕES DESCARTADAS	116
TABELA 4.9. – COEFICIENTES DA REGRESSÃO	116
TABELA 4.10. – PARÂMETRO b_2 OBSERVADO E O ESTIMADO	117
TABELA 4.11. – INFERÊNCIA ESTATÍSTICA SOBRE A REGRESSÃO DE b_2	118
TABELA 4.12. – ESTAÇÕES DESCARTADAS	119
TABELA 4.13. – COEFICIENTES DA REGRESSÃO	120
TABELA 4.14. – PARÂMETRO θ_1 OBSERVADO E O ESTIMADO	120
TABELA 4.15. – INFERÊNCIA ESTATÍSTICA SOBRE A REGRESSÃO DE θ_1	122
TABELA 4.16. – ESTAÇÕES DESCARTADAS	123

TABELA 4.17. – COEFICIENTES DA REGRESSÃO	124
TABELA 4.18. – PARÂMETRO θ_2 OBSERVADO E O ESTIMADO	124
TABELA 4.19. – INFERÊNCIA ESTATÍSTICA SOBRE A REGRESSÃO DE θ_2	126
TABELA 4.20. – ESTAÇÕES DESCARTADAS	127
TABELA 4.21. – COEFICIENTES DA REGRESSÃO	128
TABELA 4.22. – PARÂMETRO v_{12} OBSERVADO E O ESTIMADO	128
TABELA 4.23. – INFERÊNCIA ESTATÍSTICA SOBRE A REGRESSÃO DE v_{12}	130
TABELA 5.1. - CARACTERIZAÇÃO DA PCH PAINEL	135
TABELA 5.2. - PARÂMETROS DO MODELO SOSN	137
TABELA 5.3. - ESTAÇÃO FAZENDA MINEIRA – RIO LAVA TUDO/SC	137
TABELA 5.4. - ENERGIAS MÉDIAS ANUAIS DA USINA E DO SISTEMA	141
TABELA 5.5. - ENERGIAS MÉDIAS ANUAIS DA USINA E DO SISTEMA	142
TABELA 5.6. - VALORES DAS ENERGIAS CALCULADAS	143
TABELA 5.7. - DADOS PARA CÁLCULO DAS ENERGIAS	144

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1. – AFLUÊNCIAS TURBINÁVEIS PARA O MÊS DE NOVEMBRO DE 1973 DA ESTAÇÃO SANTA CLARA NO RIO JORDÃO (SUB-BACIA 65)	4
FIGURA 2.1. RELAÇÃO NÃO-PARAMÉTRICA ENTRE $Y(T)$ E $U(T)$ (FIGURA RETIRADA DO ARTIGO DE KELMAN, 1983)	44
FIGURA 3.2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO	82
FIGURA 3.3. MAPA DE GEOLOGIA	83
FIGURA 4.1. RELAÇÃO ENTRE b_1 OBSERVADO E b_1 ESTIMADO	113
FIGURA 4.2. ERROS DA REGRESSÃO COM O AUMENTO DA DECLIVIDADE	114
FIGURA 4.3. RELAÇÃO ENTRE b_2 OBSERVADO E b_2 ESTIMADO	117
FIGURA 4.4. RELAÇÃO ENTRE θ_1 OBSERVADO E θ_1 ESTIMADO	121
FIGURA 4.5. ERROS DA REGRESSÃO COM O AUMENTO DA CHUVA MÉDIA ANUAL	121
FIGURA 4.6. RELAÇÃO ENTRE θ_2 OBSERVADO E θ_2 ESTIMADO	125
FIGURA 4.7. ERROS DA REGRESSÃO COM O AUMENTO DA MÉDIA DOS DIAS CONSEC. SEM CHUVA	125
FIGURA 4.8. RELAÇÃO ENTRE v_{12} OBSERVADO E v_{12} ESTIMADO	129
FIGURA 4.9. ERROS DA REGRESSÃO COM O AUMENTO DA DECLIVIDADE	129
FIGURA 4.10. INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DO PARÂMETRO b_2 PELO MÉTODO IDW	132
FIGURA 4.11. INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DO PARÂMETRO b_2 PELO MÉTODO IDW	133

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As duas últimas décadas foram períodos de cognição geral, tanto científica, como política e social, das negativas mudanças ambientais ocorridas no século passado. Mudanças estas, oriundas da industrialização, exploração intensa dos recursos naturais, consumismo, crescimento da população, falta de planejamento, entre outros, que juntos levaram à imensa produção de resíduos poluentes líquidos, sólidos e gasosos.

O avanço em pesquisas científicas e a ampla divulgação na mídia da degradação do meio ambiente promoveram uma re conscientização ambiental sobre o processo de produção de vários ramos do desenvolvimento social e econômico mundial, e entre eles está a produção de energia elétrica, a qual é peça chave para o crescimento e desenvolvimento de um país.

A grande questão nesta área está em se produzir energia com o menor impacto ambiental possível, visando atender as demandas futuras e que tenha um preço cabível ao mercado. Dentro dessa visão, desde o final da década de noventa, o governo brasileiro vem incentivando o aproveitamento de fontes alternativas de energia elétrica, de baixo impacto ambiental, como energia solar, de biomassa, eólica, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), entre outras.

Além das questões ambientais, o governo brasileiro, após anos de congelamento nos investimentos em novas usinas hidrelétricas, termoeletricas ou nucleares, principalmente nos anos noventa, se viu diante da possibilidade de não conseguir atender a demanda energética nacional num futuro próximo, fato ocorrido no famoso “apagão” de 2001. A problemática do início do século XXI era como conseguir investimentos e como produzir energia elétrica para atender a demanda em curto prazo, já que a política nacional era da privatização do setor elétrico e a economia global e brasileira estava em recessão, com empréstimos internacionais a juros altos.

Por tudo isso, o pensamento governamental foi o seguinte: como o Brasil possui um enorme potencial hidrelétrico e conta com amplo conhecimento em projetos de usinas hidrelétricas, e pelo fato das PCHs terem um tempo reduzido de implantação, comparado às grandes usinas, além de uma taxa interna de retorno atrativa, seria interessante estimular os investidores privados para o mercado de PCHs. Assim, obter-se-ia a energia necessária para suprir parte do déficit em curto espaço de tempo e ganhar-se-ia tempo para planejar soluções a longo prazo. Então, pela ANEEL, foram promovidas políticas de incentivos para a implantação de PCHs no país, através da iniciativa privada.

Cabe ressaltar, antes de seguir o pensamento, alguns acontecimentos e conceitos para melhor entendimento: primeiro, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) são aproveitamentos hidrelétricos de 1 a 30 MW de potência instalada, com reservatórios até de 3 km² no nível máximo normal de operação, segundo a Resolução ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - n° 652 (BRASIL, 2003), de modo que seu impacto ambiental é mínimo.

Segundo, para levar em conta a operação integrada das usinas hidrelétricas despachadas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), cuja geração apresenta-se muito flutuante em função da variabilidade das afluições e da otimização global do sistema, criou-se o MRE (Mecanismo de Realocação de Energia), que define a remuneração dos agentes geradores de energia hidrelétrica em função da energia assegurada e da geração hidráulica total.

Terceiro, para tornar as PCHs mais rentáveis para os investidores, a Resolução da ANEEL n° 169/01, estendeu a participação no MRE a usinas de menor porte, como as PCHs, não despachadas pelo ONS, desde que atendam alguns requisitos, possibilitando o compartilhamento de riscos. Mais especificadamente, a ANEEL propôs que a energia assegurada das Pequenas Centrais Hidrelétricas fosse calculada através da média das vazões médias mensais, censuradas no engolimento máximo da usina sobre um período de 30 anos.

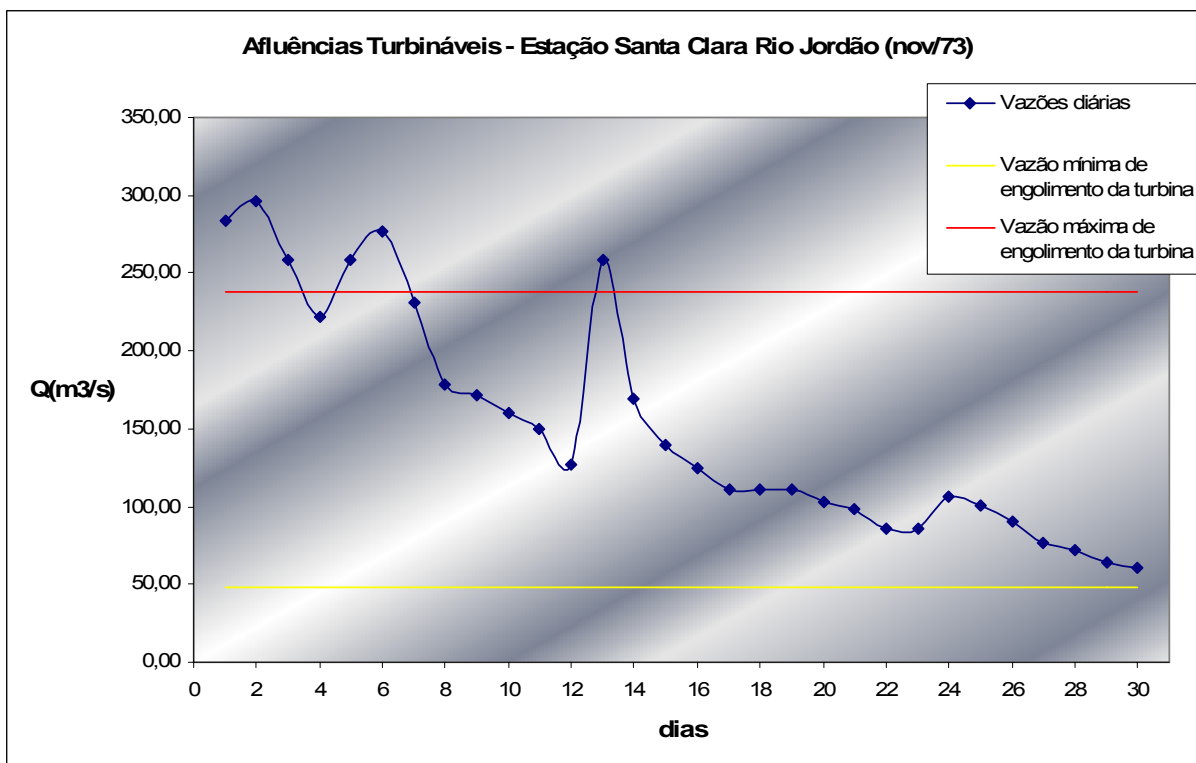
Com investimento entre três e cinco milhões de reais (valores relativos a 2009), o MW instalado, com taxas internas de retorno variando de 15 a 25% e com garantia de venda no mercado da energia, as PCHs estão se tornando um investimento mais atraente que as aplicações financeiras de renda fixa, os quais ficam na ordem de 5% a.a. (descontados impostos e inflação). Dessa forma está surgindo um grande número de projetos de PCHs, aumentando significativamente a sua participação na matriz energética nacional.

O crescimento destas pequenas usinas no sistema de geração, principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil, induz à necessidade de métodos consistentes para avaliar sua real contribuição energética ao sistema.

Atualmente, a energia assegurada das usinas hidrelétricas é obtida em dois passos: (1) Simulação por subsistemas equivalentes usando séries sintéticas, e otimização da operação térmica por programação dinâmica estocástica, obtendo-se a energia garantida com um risco de 5% do sistema hidrotérmico não atender a demanda. (2) A parcela correspondente à geração hidráulica é então rateada entre as usinas individuais mediante simulação sobre o período histórico proporcionalmente à geração de cada usina no período crítico histórico (1949 – 1956). Entretanto, nessa simulação individualizada não são consideradas as PCHs, de modo que a ANEEL definiu outro critério para a energia assegurada das PCHs, expresso na resolução 169 de 2001 e baseada na média das afluições médias mensais censuradas.

Entretanto, FILL (1989) mostra que esse procedimento proposto pela ANEEL tende a superestimar a disponibilidade energética das PCHs, geralmente a fio d'água, sendo necessária a consideração da série de vazões diárias e não mensais. Isto é mostrado no gráfico 1.1, o qual demonstra as vazões turbináveis diárias para uma PCH hipotética no rio Jordão, muito próxima da estação Santa Clara (cod. 65825000) para o mês de novembro de 1973. Para esta PCH hipotética foram consideradas como vazão máxima turbinável ($Q_{max} = 238,00 \text{ m}^3/\text{s}$) hipoteticamente duas vezes a vazão média de longo termo da estação ($Q_{MLT} = 119,00 \text{ m}^3/\text{s}$) e a vazão mínima turbinável ($Q_{min} = 47,60 \text{ m}^3/\text{s}$) quarenta por cento da vazão média de longo termo.

FIGURA 1.1. – AFLUÊNCIAS TURBINÁVEIS PARA O MÊS DE NOVEMBRO DE 1973 DA ESTAÇÃO SANTA CLARA NO RIO JORDÃO (SUB-BACIA 65)



É verificado no gráfico que em três picos têm-se volumes de água vertidos, ou seja, não aproveitados para geração por serem superiores ao engolimento máximo da turbina. Este fato mostra que há uma diferença entre a média mensal e a média mensal censurada neste mês específico.

Para verificar esta diferença, calculou-se a média mensal sem censura, resultando em $152,79 \text{ m}^3/\text{s}$, e retirou-se a vazão sanitária, considerada hipoteticamente cinco por cento da vazão média de longo termo ($Q_{\text{san}} = 5,95 \text{ m}^3/\text{s}$), chegando-se em $146,84 \text{ m}^3/\text{s}$ o valor da afluição média turbinável. Censurando os valores pelas vazões máxima e mínima turbináveis, também diminuindo a vazão sanitária, encontra-se a média das afluições de $141,14 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta diferença varia de mês para mês, porém, quando somada em todos os meses da série de trinta anos pode provocar um erro considerável no cálculo da energia assegurada da ANEEL.

Outro problema do método proposto pela ANEEL é que ele não especifica o período usado para calcular a energia assegurada em relação ao período crítico do sistema, fazendo com que a energia assegurada se aproxime da média de longo período, certamente superior a energia garantida a um risco da ordem de 5%.

Ainda, TUCCI (2008) diz que a consequência econômica das incertezas entre a energia média calculada e gerada também pode ocorrer na comercialização da energia. Ao vender um contrato de longo prazo de energia firme o proprietário da usina poderá, num período de escassez, ter que comprar energia no mercado para honrar seu contrato, caso sua PCH não fornecer a energia prevista. Neste momento o preço deve ser alto, levando a prejuízos no investimento.

Dentro deste contexto, essa pesquisa procura estabelecer um método que permita corrigir a tendenciosidade embutida no critério da ANEEL. Portanto, está centrada em um tema de grande importância para o setor elétrico brasileiro, uma vez que, ter-se-á, num futuro próximo, uma participação crescente das PCHs no suprimento de energia. A correta avaliação de sua contribuição energética torna-se crucial, caso contrário, poderá acarretar, dentro de alguns anos, um aumento significativo no risco de déficit para o sistema.

1.2. OBJETIVOS DO ESTUDO

O objetivo geral deste estudo é desenvolver um método de regionalização para avaliar a energia garantida incremental de uma Pequena Central Hidrelétrica, a fio d'água, na região sul do Brasil. Especificamente tem-se:

- Escolher estatisticamente o melhor entre os modelos estocásticos de geração de séries sintéticas de vazões médias diárias *Second Order Shot-Noise* (WEISS, 1977) e DIANA (KELMAN, 1983), em locais de PCHs na região sul;
- Regionalizar os parâmetros do modelo proposto para geração de séries sintéticas de vazões médias diárias em locais sem dados observados;

- Desenvolver um programa, que permita, a partir de séries sintéticas de vazões médias diárias, estimar os parâmetros de vazões médias anuais, censuradas na escala diária, necessários à aplicação da fórmula proposta por FILL (1989) para cálculo da energia garantida incremental de uma PCH a fio d'água, em locais sem dados observados;
- Realizar um estudo de caso para calcular a energia garantida incremental, por FILL (1989), e comparar com a energia assegurada calculada pelo método da ANEEL (2001).

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos. O capítulo 2, denominado “Descrição do Problema e Revisão da Literatura” apresenta a formulação do problema, assim como a fórmula da energia garantida incremental desenvolvida por FILL (1989), uma descrição fundamentada de censura e truncamento, a distribuição de médias de variáveis aleatórias censuradas, a base teórica dos modelos estocásticos de geração de séries sintéticas de vazões médias diárias *Shot-Noise* (WEISS, 1977) e DIANA (KELMAN, 1983), o método de cálculo da energia assegurada da ANEEL, além de rever trabalhos correlatos a esta pesquisa.

O capítulo 3, “Método de Pesquisa”, descreve os métodos utilizados para se alcançar os objetivos da pesquisa, como: os métodos de estimação dos parâmetros dos modelos estocásticos de geração de vazões médias diárias, o desenvolvimento dos algoritmos dos modelos, as estatísticas escolhidas para determinar qual o melhor modelo. Apresenta ainda, a área de estudo, os postos fluviométricos utilizados e seus respectivos dados e características e os métodos de regionalização dos parâmetros estudados.

O capítulo 4, “Resultados” apresenta os principais resultados numéricos, as equações, gráficos e mapas de regionalização, e a comparação dos parâmetros observados em cada estação com os valores regionalizados. Discute ainda, a escolha

do método de regionalização para cada parâmetro do modelo adotado. O capítulo 5 “Exemplo de Aplicação” descreve um estudo de caso, para a PCH Paineel, localizada no rio Lava Tudo, planalto serrano de Santa Catarina, estudada e projetada pela RTK Consultoria Ltda., ETS Ltda. e DW Engenharia Ltda., onde é calculada a energia garantida incremental (FILL, 1989) e comparada com a energia assegurada calculada no projeto (ANEEL, 2001).

O último item, capítulo 6, relata as conclusões do estudo e as recomendações para futuros estudos na área.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E REVISÃO DA LITERATURA

2.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A questão que incentivou o início desta pesquisa está em analisar o método de cálculo da energia assegurada sugerida pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Este é um aspecto relevante, pois o critério proposto pela ANEEL trabalha com vazões médias mensais, sendo que na realidade, a maioria das PCHs não possui reservatórios que permitam uma regularização mensal. Além disso, ao se estipular um período qualquer de 30 anos para calcular a energia assegurada, obtêm-se valores superiores aos quais a PCH poderia gerar durante o período crítico do sistema interligado. Utilizando a fórmula de FILL (1989), poderá ser avaliada a energia garantida incremental, desde que se disponha de estatísticas das energias afluentes médias anuais censuradas na escala diária.

O uso da diferença das energias firme ou garantida obtidas entre simulações do sistema com e sem usina em questão, que define a energia garantida incremental, não é adequado para o caso de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs. Isso se deve ao fato de que as aproximações adotadas, para representação do sistema nas simulações, serem da mesma ordem de grandeza da geração das usinas de médio e grande porte, o que conduz a erros consideráveis na avaliação da energia garantida de uma PCH.

FILL (1989) propôs uma fórmula baseada na teoria estocástica dos reservatórios para avaliar a energia incremental de uma usina hidrelétrica, e que utiliza como dados de entrada parâmetros estatísticos das afluições à usina e das energias naturais do sistema ao qual será agregada. Esses parâmetros são estimados através das estatísticas das médias anuais de afluições censuradas a nível diário.

Tendo em vista esse fato resta equacionar o problema de se estimarem as estatísticas média e desvio padrão das energias médias anuais turbináveis da usina e o coeficiente de correlação dessas afluições com as do sistema interligado. As energias turbináveis resultam do produto das vazões diárias afluentes pela produtividade da

usina limitado pela motorização da usina (energias naturais censuradas), em um local qualquer definido pela localização geográfica da usina. Geralmente, no caso de PCHs, não se dispõe de uma série de vazões observadas no local da usina, de modo que técnicas de regionalização serão necessárias para estimar essas vazões.

2.2. HISTÓRICO E CONCEITOS BÁSICOS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Desde o início da década de 1980, o setor elétrico brasileiro utiliza, no planejamento da expansão do sistema, modelos probabilísticos para avaliação da confiabilidade do suprimento energético. Nestes métodos, um conceito fundamental é o da energia garantida, definida como a demanda possível a ser atendida por um sistema elétrico interligado a um risco de déficit pré-fixado, considerando regras de operação otimizadas.

O risco de déficit anual é definido como a probabilidade do sistema ser incapaz de atender totalmente aquela demanda em um ano qualquer e é igual, portanto, ao complemento da confiabilidade. A energia garantida de um sistema é estimada, usualmente, a partir da simulação da operação do sistema com séries sintéticas de afluições por meio de modelos computacionais (FILL & KRÜGER, 1989). Alternativamente, pode-se também estimar a energia garantida através de métodos baseados na teoria estocástica dos reservatórios (GOMIDE, 1986), desde que uma série de simplificações sejam viáveis.

Os empreendimentos do setor elétrico se dividem basicamente em dois grupos: os que operam integrados no sistema interligado brasileiro e os que atendem a um mercado isolado. Dentre as usinas conectadas ao sistema interligado brasileiro, existem usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema – ONS, que busca a otimização global do sistema elétrico, minimizando custos globais esperados sujeito ao atendimento da demanda do mercado. Ao abrir mão de operar as suas usinas por critérios próprios o empreendedor do projeto tem como contrapartida uma remuneração proporcional à chamada energia assegurada independente da

efetiva geração da usina. Isso possibilita o compartilhamento do risco hidrológico entre os agentes geradores. No caso de uma usina não integrada ou isolada, a remuneração será correspondente à energia efetivamente gerada no local em condições hidrológicas adversas, multiplicada pela tarifa.

A operação integrada otimizada visa garantir ao mercado uma energia garantida com um dado risco superior àquela que seria obtida pela soma das energias garantidas das usinas operando isoladamente com mesmo risco. Esse ganho, resultado da diversidade hidrológica e do compartilhamento das reservas, beneficia o empreendedor que será remunerado por uma parcela maior de energia para o mesmo conjunto de instalações.

No caso do sistema elétrico brasileiro, para o conjunto das usinas hidrelétricas despachadas pelo ONS, essa remuneração corresponde a uma parcela da geração hidrelétrica total, proporcional à energia assegurada. O valor da energia assegurada é outorgado pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL para cada usina integrada do sistema e definido com base na energia garantida, porém, não necessariamente igual a esta. Esta forma de rateio da geração hidrelétrica global, conforme detalhado pela ANEEL, é conhecido como Mecanismo de Realocação de Energia – MRE.

A energia garantida incremental é definida como sendo o acréscimo da energia garantida do sistema pela adição de uma nova usina, mantendo-se o risco de déficit constante. A sua avaliação pode subsidiar decisões sobre a melhor maneira de expandir o sistema (FILL, 1989) ou ainda para definir regras e contratos de intercâmbio de energia entre os diversos geradores em um sistema integrado.

Com a Resolução ANEEL nº 169 de 2001, o Governo Federal estabeleceu critérios onde usinas de menor porte, não despachadas pelo ONS, também poderiam participar do MRE, desde que atendendo alguns requisitos, possibilitando assim, o compartilhamento dos riscos hidrológicos. Este fato aumentou consideravelmente a rentabilidade das PCHs, tornando a sua construção e operação atraentes aos investidores privados.

Sendo assim, tendem a crescer em importância as PCHs, o que impõe a definição de metodologias adequadas para a determinação de sua energia garantida incremental. Percebida a importância de se estimar adequadamente a energia garantida incremental de uma fonte geradora, surge o problema da determinação desse parâmetro para PCHs, quando integradas a um sistema elétrico interligado como o brasileiro.

Ocorre que o método de determinar o ganho pela diferença de simulações com e sem a nova usina, no caso de PCHs, apresenta instabilidades devidas ao fato do ganho proporcionado pela usina (menor que 0,1% da energia produzida pelo sistema) ser da mesma ordem de grandeza dos erros embutidos na representação do sistema para efeito de simulação.

2.3. CENSURA E TRUNCAMENTO

Uma das grandes questões que norteia esta dissertação está na censura das séries de afluições que são transformadas em energia. Para transformação das vazões afluentes em energia, a série de afluições é censurada na parte inferior, pelo limite mínimo de engolimento de uma turbina, assim como no limite superior pelo engolimento máximo da soma de todas as turbinas, assumindo valor nulo para vazões menores que o limite inferior de engolimento da turbina e valor x para vazões. Acima do engolimento máximo da soma de todas as turbinas. Assume o valor desse engolimento máximo e o excesso é vertido.

Uma distribuição é dita truncada quando a variável aleatória não pode assumir valores inferiores ou superiores a certo limite, eliminando-se estes valores da amostra. Toma-se como exemplo um exportador de camarões para compreensão do problema: selecionam-se apenas os camarões com peso acima de um determinado limite para embarque. O comprador dos camarões terá uma amostra do tipo truncada em um nível inferior previamente selecionado através de um contrato de compra e venda.

A censura ocorre quando em uma amostra, valores maiores ou menores de um certo nível são assumidos iguais a esse limite, tal como em uma usina hidrelétrica onde a parcela de vazão acima do limite de engolimento das turbinas é vertida e não computada no cálculo da energia gerada, como descrito no primeiro parágrafo.

Seja $f_x(x)$ a função densidade de probabilidade de uma distribuição de probabilidades, a função densidade para variável aleatória X' truncada em x_t ou censurada em x_c superiormente (ou à direita) serão dados respectivamente, por:

$$f_x(x') = \begin{cases} \frac{f_x(x')}{F_X(x_t)} \rightarrow p / x' \leq x_t \\ 0 \rightarrow p / x' > x_t \end{cases} \quad (2.01)$$

$$f_x(x') = \begin{cases} 0 \rightarrow p / x' > x_c \\ f_x(x') \rightarrow p / 0 < x' < x_c \\ 1 - F_X(x_c) \rightarrow p / x' = x_c \end{cases} \quad (2.02)$$

Observa-se que no caso da censura a variável aleatória apresenta uma massa de probabilidades no ponto $x' = x_c$ de modo que uma variável aleatória contínua se converte, neste caso, em uma variável aleatória mista (contínua/discreta).

A complexidade na determinação dos momentos de distribuições truncadas e censuradas é citada no trabalho de JOHNSON & KOTZ (1970). Neste, os autores analisaram a influência do truncamento na obtenção de momentos de algumas distribuições de probabilidade, concluindo que para truncamentos em níveis superiores, detectaram-se reduções na média e no desvio padrão, a exemplo dos resultados obtidos por BICCA (2003) para vazões médias diárias.

Sabendo dessas diferenças, é necessário, para o caso de PCHs a fio de água, que não tem capacidade de regularização mensal de seus reservatórios, utilizar séries de dados diários para o cálculo de sua contribuição energética.

2.4. FÓRMULA DE FILL

FILL (1989) propôs uma fórmula baseada na teoria estocástica dos reservatórios para o cálculo da energia garantida incremental de uma usina hidrelétrica acrescida a um sistema interligado. Quando se dispõe de uma série histórica de vazões no local a ser estudado, a obtenção dos parâmetros de entrada para aplicação da fórmula de FILL não apresenta maiores dificuldades. Porém, no caso de locais sem dados, a estimativa desses parâmetros depende de técnicas de regionalização, que devido às particularidades do problema, ainda apresentam dificuldades teóricas e práticas e demandam pesquisas adicionais sobre as propriedades estatísticas de médias de variáveis aleatórias censuradas.

NAGAYAMA (1995) e BICCA (2003), em suas dissertações de mestrado, dedicaram-se, respectivamente, na determinação dos efeitos da variação da motorização da usina, que representa uma censura aos parâmetros e na modelagem da média e desvio padrão (\bar{E}_u e σ_u). Contudo, a solução analítica de estimar o desvio padrão e o coeficiente de correlação cruzado (ρ_{us}), resulta em dificuldades consideráveis para uma censura a nível diário.

Por essa razão, esta pesquisa trata do problema de obter estatísticas de vazões médias anuais censuradas a nível diário, propondo um modelo de geração de vazões diárias naturais e um método de regionalização dos parâmetros de entrada deste modelo, que calcula as estatísticas necessárias, censurando as vazões diárias geradas.

As estatísticas que servem de entrada para a fórmula de FILL são: a média e desvio padrão das energias médias anuais turbináveis da usina e o coeficiente de correlação dessas afluições às do sistema interligado. As energias turbináveis, no caso de usinas a fio d'água, resultam das energias naturais afluentes limitadas pela

motorização da usina. No caso de PCHs, para tornar os resultados realistas, deve-se considerar uma escala temporal igual a, no máximo, um dia. Quando se limita uma variável aleatória, substituindo todos os valores superiores a um certo limite pelo valor do próprio limite, obtém-se o que em estatística é conhecido por distribuição censurada. Assim, as três estatísticas que servem de entrada para a fórmula de FILL, além de depender da localização da usina e da queda disponível, são função da motorização da usina, já que nem toda afluência ao local pode ser turbinada.

GOMIDE (1975) procurando adimensionalizar o problema da regularização plurianual de um reservatório propõe a seguinte expressão para a energia garantida:

$$E_g = \bar{E} - \mu\sigma \quad (2.03)$$

Sendo:

E_g - energia garantida

\bar{E} - média das afluências

μ – função do tempo de retorno e armazenamento equivalente, e depende da natureza da distribuição das afluências

σ - desvio padrão das afluências

O armazenamento equivalente é dado pelo armazenamento plurianual (descontado o armazenamento para regularização sazonal) expresso em unidades de desvio padrão.

$$a = \frac{A_p}{\sigma} \quad (2.04)$$

a – armazenamento equivalente

A_p - armazenamento plurianual (após descontar a parcela sazonal do armazenamento total do sistema)

Contudo, para que esta fórmula, desenvolvida para um único reservatório, possa ser aplicada a um sistema hidrelétrico, foram consideradas as seguintes hipóteses básicas: (1) é aplicável o método da energia natural (Canambra, 1969), (2) a regularização intra-ano é separável da plurianual e pode ser expressa como uma fração da demanda, (3) o acréscimo da nova usina não altera esta demanda, (4) a geração térmica é separável e seu valor também não se altera com a adição da usina adicionada, (5) a distribuição das afluições são idênticas com e sem a nova usina, variam apenas na variância e média das afluições, e (6) a confiabilidade é avaliada de forma estocástica, sendo mantida constante e expressa pelo tempo de recorrência

$Tr = \frac{1}{(1 - P[s|S])}$, onde $s|S$ é o evento condicionado “sucesso no atendimento da demanda no período corrente, dado que houve sucesso nos períodos anteriores”.

FILL (1989) se vale destas hipóteses por serem aceitáveis para o setor elétrico brasileiro, e por constituírem a base dos métodos disponíveis para avaliação de risco pela teoria estocástica de reservatórios. Posteriormente, utilizando expressões clássicas para média e variância da soma das variáveis aleatórias, efetuando operações básicas de álgebra e, considerando as hipóteses básicas acima, chega à seguinte fórmula para o ganho da energia garantida de um sistema com uma nova usina:

$$\Delta E_g = K_1 \bar{E}_u - K_2 \sigma_S \zeta + K_3 A_u \quad (2.05)$$

Sendo:

ΔE_g = variação da energia garantida

ζ - o valor deste parâmetro vem da fórmula:

$$\zeta = \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_u}{\sigma_s}\right)^2 + 2\rho_{us}\left(\frac{\sigma_u}{\sigma_s}\right)} - 1 \quad (2.06)$$

\bar{E}_u – média das energias afluentes à usina

σ_S – desvio padrão das energias afluentes ao sistema

A_u - é o ganho no armazenamento total do sistema devido ao acréscimo da usina e corresponde à soma das energias armazenadas a montante da usina.

$$A_u = (0,311 \times 10^{-3}) H_u \eta \sum V_m \quad (2.07)$$

Onde:

H_u - queda líquida média

η - rendimento do conjunto turbina-gerador

$\sum V_m$ - soma dos volumes úteis a montante da usina em questão

K_1, K_2 e K_3 – são coeficientes dados por:

$$K_1 = \frac{1}{(1 - \phi \mu'_s)} \quad (2.08)$$

$$K_2 = \frac{\mu_s - \mu'_s a_s}{(1 - \phi \mu'_s)} \quad (2.09)$$

$$K_3 = \frac{-\mu'_s}{(1 - \phi\mu'_s)} \quad (2.10)$$

Onde:

ϕ – é o fator de armazenamento intra-ano (ver GOMIDE & CUNHA, 1981)

$$\mu'_s = \frac{d\mu}{da} \quad (2.11)$$

A expressão (2.05) facilita o cálculo devido à utilização do armazenamento incremental total A_u introduzido no sistema pela usina, mais simples de ser avaliado que a variação no armazenamento plurianual.

Os coeficientes K_1 , K_2 e K_3 podem ser tabelados, considerando-se para o tempo de recorrência um valor de referência, adotando-se o modelo probabilístico padrão para as afluências (i.e. uma família de distribuições marginais com assimetria e curtose fixas e estruturas de autocorrelação também fixa) e fixando um valor para ϕ .

FILL (1989) verificou que a função $\mu=\mu(a)$ para $Tr=$ constante pode ser aproximado de modo satisfatório por uma curva exponencial do tipo:

$$\mu = \alpha e^{-\beta a} \quad (2.12)$$

Sendo a derivada:

$$\mu' = -\alpha\beta e^{-\beta a} = -\beta\mu \quad (2.13)$$

Substituindo (2.12) e (2.13) em (2.08), (2.09) e (2.10), resulta:

$$K_1 = \frac{1}{(1 + \alpha\beta\phi e^{-\beta a})} \quad (2.14)$$

$$K_2 = \alpha e^{-\beta a} (1 + \beta a) K_1 \quad (2.15)$$

$$K_3 = \alpha\beta e^{-\beta a} K_1 \quad (2.16)$$

FILL (1989) estimou os parâmetros α e β pelo método dos mínimos quadrados para pares de valores μ e a obtidos pela teoria estocástica dos reservatórios e tabelou os valores obtidos para o caso de uma distribuição marginal de afluições log-normal de 3 parâmetros, modelo este aceito no setor elétrico brasileiro (KELMAN, 1987), com coeficiente de assimetria 0,3, coeficiente de correlação em série de 0,25, $Tr = 45$ anos e $\phi = 0,183$ (GOMIDE & CUNHA, 1981), obtendo:

$$\alpha = 1,793 \text{ e } \beta = 0,533$$

A expressão (2.14) assume um caráter realista, pois para α e β positivos, sempre teremos (2.14) e (2.15) maior que zero, para quaisquer valores de " a ". Isso quer dizer que, para uma correlação positiva entre as afluições à usina e ao sistema e um comum aumento da regularização, a energia garantida incremental se aproxima da energia média, porém sem nunca superá-la.

Os coeficientes dados pelas expressões de K_1 , K_2 e K_3 foram então calculados para estas condições e seus valores foram listados na tabela 2.3.

A série de energia natural afluenta do sistema integrado sul-sudeste de 1931-1980, retirada de NEIRA (2005), a qual se encontra em anexo, apresenta coeficiente de assimetria igual a 0,27 e coeficiente de autocorrelação igual a 0,33, ligeiramente diferentes dos valores usados para o cálculo de α e β , mas não significativamente diferentes como se mostra a seguir.

LOUCKS *et al.* (1981) apresentam os seguintes valores para o valor esperado e o desvio padrão do coeficiente de assimetria:

TABELA 2.1. – VALOR ESPERADO DE ASSIMETRIA

γ verdadeiro	$E[\gamma]$		
	n		
	10	20	50
0	0	0	0
0,25	0,13	0,18	0,22
0,50	0,26	0,36	0,44
1,00	0,51	0,70	0,85
2,00	0,97	1,32	1,63

TABELA 2.2. – DESVIO PADRÃO DA ASSIMETRIA

γ verdadeiro	$\sigma[\gamma]$		
	n		
	10	20	50
0	0,58	0,47	0,33
0,25	0,58	0,48	0,34
0,50	0,58	0,49	0,36
1,00	0,59	0,53	0,43
2,00	0,61	0,63	0,60

Então para $\gamma = 0,3$ e $n = 50$, interpolando nas tabelas, tem-se um valor esperado para assimetria de 0,26 e um desvio padrão de 0,34. Assumindo que γ seja distribuído aproximadamente normal, os valores de assimetria podem variar entre -0,08 e 0,60, com uma probabilidade de 70%, utilizando o desvio padrão como intervalo de confiança.

Para o estimador do coeficiente de autocorrelação, LOUCKS *et al.*... (1981) mostram que:

$$VAR(\hat{\rho}_1) \approx \frac{1}{n}(1 - \rho^2) \quad (2.17)$$

Para um coeficiente de autocorrelação verdadeiro igual 0,25 e um processo estocástico AR(1), resulta, para $n=50$, em $VAR(\hat{\rho}_1) = 0,0188$, e um erro padrão de $\sigma(\hat{\rho}_1) = 0,137$.

LOUCKS *et al.* (1981) também mostram que a tendenciosidade do estimador do coeficiente de autocorrelação (*bias*) em geral pode ser desprezada para efeitos práticos, de modo que o intervalo de confiança para mais e para menos um desvio padrão é de $0,11 < \hat{\rho}_1 < 0,39$. Verifica-se portanto que os valores amostrais da série de 1931-1980 para assimetria e autocorrelação são coerentes com os valores assumidos por FILL (1989), para o cálculo dos coeficientes K_1 , K_2 e K_3 .

TABELA 2.3. – COEFICIENTES PARA O CÁLCULO DA ENERGIA GARANTIDA INCREMENTAL.
DISTRIBUIÇÃO LN 3

a	K ₁	K ₂	K ₃	a	K ₁	K ₂	K ₃
0,000	0,851	1,526	0,814	1,550	0,929	1,331	0,389
0,050	0,854	1,531	0,795	1,600	0,931	1,318	0,379
0,100	0,858	1,536	0,777	1,650	0,932	1,304	0,370
0,150	0,861	1,539	0,760	1,700	0,934	1,290	0,361
0,200	0,864	1,541	0,743	1,750	0,936	1,276	0,352
0,250	0,867	1,542	0,726	1,800	0,937	1,261	0,343
0,300	0,870	1,542	0,709	1,850	0,939	1,247	0,335
0,350	0,873	1,542	0,693	1,900	0,940	1,232	0,327
0,400	0,876	1,540	0,677	1,950	0,942	1,218	0,318
0,450	0,879	1,537	0,661	2,000	0,943	1,203	0,311
0,500	0,882	1,534	0,646	2,050	0,945	1,188	0,303
0,550	0,885	1,530	0,631	2,100	0,946	1,174	0,295
0,600	0,887	1,525	0,616	2,150	0,947	1,159	0,288
0,650	0,890	1,519	0,602	2,200	0,949	1,144	0,281
0,700	0,892	1,513	0,588	2,250	0,950	1,129	0,274
0,750	0,895	1,506	0,574	2,300	0,951	1,114	0,267
0,800	0,897	1,498	0,560	2,350	0,952	1,099	0,260
0,850	0,900	1,490	0,547	2,400	0,954	1,084	0,254
0,900	0,902	1,482	0,534	2,450	0,955	1,069	0,247
0,950	0,905	1,472	0,521	2,500	0,956	1,055	0,241
1,000	0,907	1,463	0,509	2,550	0,957	1,040	0,235
1,050	0,909	1,453	0,497	2,600	0,958	1,025	0,229
1,100	0,911	1,442	0,485	2,650	0,959	1,010	0,223
1,150	0,913	1,431	0,473	2,700	0,960	0,996	0,218
1,200	0,915	1,420	0,462	2,750	0,961	0,981	0,212
1,250	0,918	1,408	0,451	2,800	0,962	0,967	0,207
1,300	0,920	1,396	0,440	2,850	0,963	0,952	0,202
1,350	0,921	1,384	0,429	2,900	0,964	0,938	0,196
1,400	0,923	1,371	0,419	2,950	0,965	0,924	0,191
1,450	0,925	1,358	0,408	3,000	0,966	0,910	0,187
1,500	0,927	1,345	0,398				

FONTE: FILL (1989)

Para o caso de PCHs, onde:

$$\frac{\bar{E}_u}{\bar{E}_s} \ll 1; \frac{\sigma_u}{\sigma_s} \ll 1 \rightarrow \left(\frac{\sigma_u}{\sigma_s} \right)^2 \ll \frac{\sigma_u}{\sigma_s} \quad (2.18)$$

Resulta:

$$\zeta \approx \sqrt{1 + 2\rho_{us} \frac{\sigma_u}{\sigma_s}} - 1 \quad (2.19)$$

Desenvolvendo a equação anterior pelo binômio de Newton, a expressão sob o radical, e desprezando os termos com grau superior ao primeiro, tem-se:

$$\zeta = \sqrt{1 + 2\rho_{us} \frac{\sigma_u}{\sigma_s}} - 1 = (1 + \rho_{us} \frac{\sigma_u}{\sigma_s} + \dots) - 1 \cong \rho_{us} \frac{\sigma_u}{\sigma_s} \quad (2.20)$$

Substituindo (2.20) em (2.05), resulta:

$$\Delta E_g = K_1 \bar{E}_u - K_2 \rho_{us} \sigma_s + K_3 A_u \quad (2.21)$$

Como a maioria das PCHs são usinas a fio de água, o armazenamento incremental total é considerado nulo ($A_u = 0$), chegando-se a expressão:

$$\Delta E_g = K_1 \bar{E}_u - K_2 \rho_{us} \sigma_s \text{ ou } \Delta E_g = K_R \bar{E}_u \quad (2.22)$$

Sendo:

K_R – o fator de regularização dado por:

$$K_R = K_1 - K_2 \rho_{us} C_V \quad (2.23)$$

Onde:

C_V - coeficiente de variação da energia afluenta a usina

O problema da fórmula em relação às PCHs, é que se faz necessária a utilização de dados de afluência na escala diária para que o resultado seja correto.

FILL, CHELLA, MINE, KAVISKI & FREITAS (2005) realizaram um estudo para avaliar a energia assegurada de quatorze PCHs, localizadas na região sul, sudeste e centro-oeste, sendo nove realmente existentes ou projetadas e cinco hipotéticas, através dos critérios da ANEEL e ANA, comparando-os com os valores obtidos pelo método de FILL (1989) para cálculo da energia garantida incremental, com níveis de confiabilidade correspondentes a tempos de recorrência de 50 e 120 anos. O método proposto pela ANA para o cálculo da energia assegurada de uma PCH consiste em uma energia assegurada igual a média das energias afluentes à usina, censuradas em sua motorização, sobre o período crítico do sistema, e tal método levou a valores de energia assegurada compatíveis com a energia garantida incremental, mantendo estável a confiabilidade do sistema. Por outro lado, o método da ANEEL, conduziu a valores de energia assegurada significativamente superiores aos da energia garantida incremental, diminuindo a confiabilidade do sistema.

O grupo de pesquisadores baseou-se na Resolução nº 169 (ANEEL, 2001), a qual estabelece que o período hidrológico para definição da energia assegurada é de 30 anos, sendo que os autores analisaram os resultados da metodologia da ANEEL para vários períodos de 30 anos, extraídos de um histórico de 50 anos disponíveis. Para a aplicação do método proposto pela ANA (BRASIL, 2002) foi utilizado o período crítico correspondente ao subsistema Sul-Sudeste/Centro-oeste, configuração 2001 (sistema base). As características das PCHs e os valores de energia calculados pelos autores encontram-se nas tabelas a seguir.

TABELA 2.4.: LOCAIS ESTUDADOS

PCH	Potência (MW)	Queda Bruta (m)	Área de Drenagem (km ²)	Rio	Bacia Hidrográfica	Estado
Cajuru	7,20	20,5	2230	Pará	São Francisco	MG
Pai Joaquim	23,00	16,1	3610	Araguari	Paraná	MG
Santana do Jacaré	3,50	25,0	1469	Jacaré	Paraná	MG
Inferno	30,00 ¹	43,0	6100	Das Mortes	Paraná	MG
Cachoeira da Fumaça	3,20	14,0	1010	Ingai	Paraná	MG
Salto Grande	4,55	10,0	2062	Atibaia	Paraná	SP
Alto Jauru	20,02	45,0	1590	Jauru	Paraná	MT
Caveiras	3,90	29,4	1128	Caveiras	Uruguai	SC
Salto Caiacanga	9,50	13,7	3450	Iguaçu	Paraná	PR
PCH 01 ²	3,00	14,6	585	Da Várzea	Paraná	PR
PCH 02 ²	20,00	23,7	3800	Marombas	Uruguai	SC
PCH 03 ²	8,00	87,9	392	Turvo	Atl. Sul/Sudeste	PR
PCH 04 ²	10,00	29,7	1774	Itajaí do Sul	Atl. Sul/Sudeste	SC
PCH 05 ²	15,00	45,1	1042	Tijucas	Atl. Sul/Sudeste	SC

FONTE: FILL, CHELLA, MINE, KAVISKI & FREITAS (2005)

¹ Potência Instalada real da usina: 48,9 MW, ² Usinas hipotéticas

TABELA 2.5 – ENERGIAS ASSEGURADAS (ANA E ANEEL) E GARANTIDA INCREMENTAL (FILL, 1989) - MWmédio

PCH	Região	Metodologias		Metodologia de FILL (1989)			
		ANA	ANEEL	Com Regularização Intra-ano		Sem Regularização Intra-ano	
				T=120 anos	T=50 anos	T=120 anos	T=50 anos
Cajuru	Sudeste	3,93	4,77	3,89	3,95	4,10	4,17
Pai Joaquim		6,64	10,52	7,75	7,95	8,16	8,38
Santana do Jac.		3,23	3,00	2,77	2,78	2,92	2,94
Inferno		21,94	25,64	22,75	22,92	23,97	24,18
Cachoeira da F.		1,41	1,96	1,49	1,52	1,57	1,61
Salto Grande		1,54	2,40	1,98	1,99	2,09	2,10
Alto Jauru	Centro-oeste	13,28	14,18	12,88	12,89	13,57	13,60
Caveiras	Sul	3,49	3,58	3,17	3,18	3,33	3,36
Salto Caiacanga		5,62	6,25	4,58	4,71	4,83	4,97
PCH 01		1,22	1,37	0,97	1,00	1,02	1,06
PCH 02		11,82	13,78	9,62	9,88	10,14	10,43
PCH 03		4,32	5,40	3,79	3,89	3,99	4,11
PCH 04		5,85	6,40	4,81	4,92	5,08	5,19
PCH 05		6,57	8,70	5,94	6,13	6,25	6,47

FONTE: FILL, CHELLA, MINE, KAVISKI & FREITAS (2005)

Ainda, nas recomendações do artigo, os autores ressaltam a dificuldade de se obter dados na escala diária para os locais de projetos de PCHs, sendo necessária a regionalização dos parâmetros estatísticos de vazões censuradas no engolimento das turbinas. Isso implica em considerável esforço de pesquisa, seja para gerar séries sintéticas de vazões diárias com parâmetros regionalizados (objetivo desta dissertação), seja para regionalizar diretamente as variáveis de entrada à fórmula analítica de FILL (1989), manipulando as funções densidade de probabilidade. Neste caso é necessário determinar a média, variância e coeficiente de correlação da soma de 365 valores diários, cuja distribuição conjunta é pouco conhecida, razão pela qual NAGAYAMA (1995) e BICCA (2003) encontraram muitas dificuldades em suas dissertações.

2.5. VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS

A vazão de um rio é função de um conjunto de variáveis hidrológicas determinísticas e aleatórias que influem no seu processo de geração. Portanto a sequência de vazões de um curso de água constitui um processo estocástico decorrente da aleatoriedade intrínseca das precipitações além dos efeitos de escala nas características da bacia e da chuva e pelas incertezas das observações.

A modelagem estocástica de vazões pode ser realizada, a princípio, por duas metodologias distintas: os métodos indiretos, nos quais as séries de precipitações são entendidas como realização do processo estocástico e que são transformadas em vazões através de um modelo chuva-vazão, e os métodos diretos, caracterizados pelo uso de séries temporais de vazões, gerados diretamente por um modelo do processo estocástico subjacente, sem considerar as precipitações e suas interações com a bacia hidrográfica. O segundo método, mais comum, incorpora no processo estocástico as incertezas do processo de transformação chuva-vazão.

Conhecendo-se um processo elementar e suas propriedades, é possível determinar as propriedades das variáveis aleatórias que são função deste processo através de um procedimento conhecido como agregação (YEVJEVICH, 1984). Isso

significa que, a partir de uma série de vazões diárias ou de suas propriedades estatísticas, é possível derivar as propriedades das séries temporais mensais ou anuais, que devem ser compatíveis com as propriedades dessas variáveis agregadas quando analisadas diretamente.

MULLER (1997) classificou os modelos estocásticos de geração diária por métodos diretos, baseado em KELMAN (1987), porém com algumas modificações, em:

1. Modelos baseados unicamente em simuladores de vazões mensais;

2. Modelos de pulsos para ocorrência ou não de chuva, divididos em:

- 2.1. Modelos “*shot-noise*”;

- 2.2. Modelos baseados na transição de probabilidades “seco-chuvoso”;

- 2.3. Modelos de pulsos empíricos;

3. Modelos não-paramétricos;

4. Modelos de desagregação.

2.5.1. Modelagem Estocástica de Vazões Médias Diárias

BARBOSA (1981) desenvolveu sua dissertação visando comparar uma série de métodos de geração diária. O autor gerou vazões diárias por quatro métodos diferentes: TREIBER e PLATE (*apud* SARGENT, 1979), YAKOWITZ (1979), O’CONNEL e JONES (*apud* BARBOSA, 1981), e por KELMAN (1977).

O modelo de TREIBER e PLATE foi o pioneiro em trabalhar com pulsos antes da geração de vazões. Modelos matemáticos, posteriormente, são ajustados ao histórico, tanto para as recessões como para as ascensões da hidrógrafa, sendo reproduzidos no modelo de geração.

Para a geração do modelo não-paramétrico de YAKOWITZ (1979), BARBOSA (1981) desenvolveu algumas modificações, de modo a permitir a ocorrência de valores de vazões máximas superiores ao histórico, uma melhor reprodução da sazonalidade

na geração, através da modificação do modelo não-paramétrico original para um modelo sazonal não paramétrico, e por fim, uma pesquisa quanto à representatividade e o número de vetores.

O modelo de O'CONNELL e JONES é um modelo auto-regressivo não linear, onde a vazão no dia $i+1$ depende de uma função não linear da vazão no dia i mais um pulso, ou seja, se ocorre ou não chuva.

O modelo de KELMAN (1977) sofreu algumas modificações por BARBOSA (1981), originando o modelo DIANA (1983), que será utilizado e detalhado neste estudo.

O estudo de BARBOSA (1981) serviu como base de pesquisa e métodos de testes para os modelos do trabalho de MULLER (1997). BARBOSA (1981), pelos seus testes de momentos, como média, desvio padrão, variância, assimetria das vazões diárias e máximas, entre outros, índices de igualdade de distribuições multinomiais e de Smirnov (testa se a distribuição da série histórica é a mesma da série sintética), teste de avaliação global, chegou a conclusão que as modificações no modelo de KELMAN (1977) conduziram a resultados melhores.

FILL e MINE (1985) utilizaram o modelo estocástico “*shot-noise*” de segunda ordem (SOSN), desenvolvido por WEISS (1977) para bacias na serra do mar no estado do Paraná e obtiveram resultados bastante satisfatórios.

MULLER (1997) em sua dissertação de mestrado estudou modelos de geração de vazões diárias para todas as classes de modelos diretos descritas por ele e anteriormente neste trabalho (item 2.5). Para representar os modelos baseados unicamente em simuladores de vazões mensais o autor utilizou os modelos de QUIMPO (1968) e PAYNE (1969).

Entre os modelos de pulsos foram utilizados o “*shot-noise*” de segunda ordem de WEISS (1977), o modelo de SARGENT (1979), uma simplificação do modelo de TREIBER e PLATE, e o modelo DIANA de KELMAN (1983). Para os modelos não paramétricos MULLER (1997) escolheu o de YAKOWITZ (1979). Já para os modelos de

desagregação escolheu o de SVANIDZE (1980), sendo este fonte de inspiração para outros dois modelos propostos pelo autor, o Modelo Simplificado de Desagregação, denominado MSD e o Modelo Modificado de Desagregação, MMD.

MULLER (1997) em sua conclusão relata que os modelos propostos por ele, modificados do modelo de desagregação de SVANIDZE (1980), tiveram melhores resultados, porém, relata também, que alguns testes apresentaram discrepâncias, não podendo se afirmar qual seria o melhor modelo entre os analisados. O autor relata que teve dificuldades com DSN (*Double Shot Noise*), que será detalhado no próximo item.

Para esta pesquisa foi decidido utilizar dois modelos, e verificar qual apresentaria melhores resultados. O primeiro escolhido foi o *Second Order Shot Noise* - SOSN, de WEISS (1977), por ter sido utilizado na Serra do Mar do estado do Paraná, local que será abrangido neste estudo, por FILL e MINE (1985), onde apresentou resultados bastante satisfatórios, como descrevem os autores. O outro modelo selecionado foi o DIANA, de KELMAN (1983), utilizado por BARBOSA (1981) e MULLER (1997) utilizarem em suas dissertações, sendo que nos estudos do primeiro autor, este modelo obteve os melhores resultados entre as alternativas estudadas, e o segundo autor, relata que o modelo DIANA apresentou resultados bons.

2.5.2. Modelo *SHOT-NOISE*

2.5.2.1. *Embasamento Teórico*

Os modelos Shot-Noise se destacam por serem capazes de reproduzir a inversibilidade temporal (NAGAYAMA, 1995), combinando conceitos de hidrologia estocástica (ascensão) e determinística (recessão). Tais modelos consideram as vazões diárias como médias (sobre o período de um dia) de um processo auto-regressivo de 1ª ordem contínuo no tempo, com ruído não negativo, assimetricamente distribuído e que tem uma probabilidade positiva de ser exatamente nulo. Os modelos shot-noise mais promissores para geração de vazões diárias são de 2ª ordem, os quais

modelam as vazões por dois componentes, um rápido, correspondente ao escoamento superficial, e outro lento, para o escoamento subterrâneo. Estes modelos fornecem hidrogramas de ascensões rápidas, seguidas de recessões com decaimento exponencial (WEISS, 1977), como muitas vezes se observa na natureza.

Um processo de Poisson filtrado $X(t)$ é definido por:

$$X(t) = \sum_{m=N(t)}^{N(t+1)} \omega(t - \tau_m, y_m) \quad (2.24)$$

Onde:

$N(t)$ = processo de Poisson

y_m = variável aleatória associada a τ_m

$\omega(t, y)$ = função de transferência

A sequência $\dots, \tau_{-1}, \tau_0, \tau_1, \dots$ é constituída dos tempos dos eventos do processo $N(t)$, e a sequência $\dots, y_{-1}, y_0, y_1, \dots$ são variáveis aleatórias independentes, tendo a mesma distribuição de Y e são independentes de $N(t)$. Para maiores detalhes deste processo ver Parzen (1964).

Uma interpretação física em termos hidrológicos pode ser dada a um processo de Poisson filtrado segundo MINE (1990). Os eventos aos tempos aleatórios τ_m , dados pelo processo de Poisson podem ser vistos como o início dos episódios pluviais. A variável aleatória y_m associada com τ_m , corresponderia à quantidade de água da tempestade. Finalmente, τ_m e y_m produziriam uma resposta no escoamento dado por $\omega(t - \tau_m, y_m)$ e então $\omega(t, y)$ representa a função de transferência do sistema.

Esta interpretação é somente aproximada, uma vez que as chuvas não são independentes como requer a definição dos y_m 's. Pode-se contudo imaginar que inicialmente existem séries independentes de eventos climáticos e que $\omega(t, y)$ é a função de transferência que transforma tais eventos climáticos em vazão.

A equação (2.24) define um processo estacionário, enquanto as vazões estão sujeitas a variações sazonais. O processo de Poisson filtrado não estacionário é obtido se $N(t)$ é não homogêneo, a distribuição de y_m é uma função de τ_m e a função de transferência é $\omega(t, \tau, y)$.

Quando se tenta modelar um processo estocástico em Hidrologia faz-se frequentemente a hipótese da linearidade. Assume-se portanto que o processo estocástico $X(t)$ é da forma:

$$X(t) = \int_0^t h(u) du(t-u) \quad (2.25)$$

$du(t)$ - processos de incrementos independentes (e portanto não correlacionados) que descrevem toda aleatoriedade em $X(t)$.

$h(t)$ - função de transferência do sistema

Supondo-se a bacia hidrográfica representada por um único reservatório linear, tem-se:

$$X(t) = bS(t) \quad (2.26)$$

Sendo:

$X(t)$ - vazão instantânea (saída do reservatório linear)

$S(t)$ - armazenamento instantâneo

b - coeficiente de armazenamento

A equação da continuidade é:

$$\frac{d}{dt}S(t) = Y(t) - X(t) \quad (2.27)$$

Onde:

$Y(t)$ - é a vazão de entrada instantânea no reservatório linear

Substituindo (2.26) em (2.27):

$$\frac{d}{dt}X(t) + bX(t) = bY(t) \quad (2.28)$$

Integrando a equação (2.28) para um pulso unitário instantâneo (função delta de Dirac) com $Y(0) = \infty$, $Y(t) = 0$, para qualquer $t \neq 0$ resulta em:

$$h(t) = e^{-bt} \quad (2.29)$$

Que deve determinar a configuração das recessões em $X(t)$.

Em geral, separando a bacia hidrográfica como um reservatório linear para uma entrada $Y(t)$, contínua no tempo, tem-se uma vazão de saída $X(t)$ calculada pela integral (equação do hidrograma unitário instantâneo):

$$X(t) = \int_0^t Y(\tau) e^{-b(t-\tau)} d\tau \quad (2.30)$$

Caso a entrada na bacia até o instante t ocorra como uma sucessão de $N(t)$ pulsos instantâneos de precipitação $Y(\tau_1), Y(\tau_2), \dots, Y(\tau_n), \tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_n < t$, a integral (2.30) degenera no somatório:

$$X(t) = \sum_{m=N(-\infty)}^{N(t)} Y(\tau_m) e^{-b(t-\tau_m)} \quad (2.31)$$

Onde:

$Y(\tau_m) = y_m$ como visto no item anterior, ou seja, corresponde ao volume de chuva do episódio pluvial com início em τ_m .

O processo tem três parâmetros ν , θ e b . Supõe-se que a ocorrência de pulsos seja um processo de Poisson, logo $N(t)$ é um processo de Poisson com taxa ν .

Diversos pesquisadores (TODOROVIC E WOOLHISER, 1975) assumiram que a altura da precipitação medida num intervalo de discretização muito pequeno seja uma variável aleatória com distribuição exponencial. Logo, Y segue uma distribuição exponencial com média θ e uma função densidade de probabilidade dada por:

$$f_Y(y) = \frac{1}{\theta} e^{-\frac{y}{\theta}} ; y > 0 \quad (2.32)$$

O processo estocástico $X(t)$ dado pela equação (2.31) segue uma distribuição Gama (Pearson II) com parâmetros $(\frac{1}{\theta}, \frac{\nu}{b})$ e $X(t)$ é não negativa e positivamente assimétrica com função distribuição de probabilidade dada por:

$$f_X(x) = \frac{\left(\frac{1}{\theta}\right)^{\frac{\nu}{b}} x\left(\frac{\nu}{b}\right)^{-1}}{\Gamma\left(\frac{\nu}{b}\right)} e^{\frac{-x}{\theta}} \quad (2.33)$$

Alguns dos momentos de $X(t)$ são dados pelo conjunto de equações (2.34):

$$\begin{aligned} E[X(t)] &= \frac{\nu\theta}{b} \\ VAR[X(t)] &= \frac{\nu\theta^2}{b} \\ \rho[X(t), X(t+s)] &= e^{-bs} ; \rho/s > 0 \end{aligned} \quad (2.34)$$

A equação (2.31) pode ser reescrita para $X(t+s)$ como:

$$X(t+s) = e^{-bs} \sum_{m=N(-\infty)}^{N(t)} Y(\tau_m) e^{-b(t-\tau_m)} + \sum_{m=N(t)}^{N(t+s)} Y(\tau_m) e^{-b(t+s-\tau_m)} \quad (2.35)$$

Os dois termos em (2.35) são independentes. O primeiro representa o efeito dos eventos anteriores ao tempo t e é: $\{(e^{-bs}) [X(t)]\}$. O segundo inclui os eventos em $(t, t+s)$ e é o termo de inovação. Denotando a inovação por $\varepsilon_s(t+s)$ tem-se:

$$X(t+s) = e^{-bs} X(t) + \varepsilon(t+s) \quad (2.36)$$

Desta forma vê-se que o “*shot noise*” é um processo auto-regressivo de primeira ordem, e difere do AR(1) Gaussiano pois $\varepsilon_s(t+s)$ não é um ruído branco, mas uma

variável aleatória não negativa com distribuição assimétrica e probabilidade positiva de ser exatamente nulo (quando nenhum evento ocorre em $(t, t+s)$).

Admite-se que as vazões seguem um processo “*shot-noise*” $X(t)$ contínuo no tempo e que os dados observados são médias deste processo sobre o período de tempo de $T=1$ dia. Os dados de X_1, X_2, \dots , são então definidos como:

$$X_j = \frac{1}{T} \int_{(j-1)T}^{jT} X(t) dt \quad (2.37)$$

Os momentos de X_j são diferentes daqueles de $X(t)$ em (2.34) e são dados por:

$$\begin{aligned} E[X(t)] &= \frac{\nu\theta}{b} \\ VAR[X(t)] &= \frac{\nu\theta^2}{b} \frac{2[b - (1 - e^{-b})]}{b^2} \\ \rho[X(t), X(t+s)] &= \frac{(1 - e^{-b})^2}{2[b - (1 - e^{-b})]} e^{-b(s-1)} ; \rho/s \geq 0 \end{aligned} \quad (2.38)$$

Em adição, as recessões para valores médios serão:

$$\begin{aligned} h(t) &= \frac{1}{b} (1 - e^{-bt}) \quad 0 < t \leq 1 \\ h(t) &= \frac{1 - e^{-b}}{b} e^{-b(t-1)} \quad 1 < t \end{aligned} \quad (2.39)$$

Isto é, a subida é gradual para $0 \leq t < 1$.

2.5.2.2. Geração de dados Sintéticos

Em relação ao ajuste do modelo os valores de ν , θ e b são calculados para preservar os valores de μ , σ^2 e $\rho(1)$ observados nos dados. Então se calcula a partir da série histórica os valores amostrais $\hat{\mu}$, $\hat{\sigma}^2$ e $\hat{\rho}^2(1)$. Estes são substituídos em (2.38), os quais são resolvidos para $\hat{\nu}$, $\hat{\theta}$ e \hat{b} . A estimativa de b é obtida pela 3ª equação do conjunto (2.38) através de métodos numéricos ou por tentativas.

Denotando por X_t , $t = 1, 2, \dots$ o “shot noise” médio a ser gerado e por $X(t)$, $t = 1, 2, \dots$ os valores do processo contínuo obtêm-se de (2.35) e (2.39):

$$X_{t+1} = \frac{1}{b}(1 - e^{-b})X(t) + \sum_{m=N(t)}^{N(t+1)} \frac{1}{b} [1 - e^{-b(t+1-m)}] Y(\tau_m) \quad (2.40)$$

$$X(t+1) = e^{-b} X(t) + \sum_{m=N(t)}^{N(t+1)} [e^{-b(t+1-m)}] Y(\tau_m) \quad (2.41)$$

Inicia-se o algoritmo de geração com um valor para $X(0)$ e gera-se X_1 e $X(1)$. $X(1)$ é então usado para gerar X_2 e $X(2)$ e assim por diante.

1. Os primeiros termos em (2.40) e (2.41) são calculados de $X(t)$;
2. Os eventos de tempo são iniciados fazendo $m=0$ e $\tau_m=0$;
3. O próximo evento τ_{m+1} é gerado como $\tau_{m+1}=\tau_m+W$, onde W é pseudo-aleatório gerado de uma distribuição exponencial com média $\frac{1}{\nu}$;

4. Se $\tau_{m+1} > 1$ todos os eventos em $(t, t+1)$ foram exauridos e a geração de X_{t+1} e $X(t+1)$ é completa;
5. Se $\tau_{m+1} < 1$ gera-se $Y(\tau_{m+1})$ de uma exponencial com média θ ;
6. Calcula-se a contribuição de $Y(\tau_m)$ em (2.40) e (2.41) através do segundo membro das equações e adiciona-se aos valores de X_{t+1} e $X(t+1)$ respectivamente;
7. Faz-se $m=m+1$ e repetem-se os passos de 3 a 7.

2.5.2.3. Shot Noise de 2ª Ordem

Este modelo permite modelar tanto o escoamento superficial como o escoamento de base, cada um deles consistindo de um simples reservatório linear, tendo decaimento exponencial b_1 e b_2 com $b_1 > b_2$, respectivamente. A vazão é representada neste modelo pela soma de dois processos “shot-noise” $X(t) = X_1(t) + X_2(t)$, o processo rápido e o processo lento, tendo parâmetros v_1, θ_1, b_1 e v_2, θ_2, b_2 , respectivamente.

Neste caso, vários modelos podem ser considerados:

1. SOSN – *Second Order Shot Noise*: neste, os eventos dos dois processos são simultâneos, então: $v_{12} = v_1 = v_2$.
2. “*Double Shot Noise*” – DSN: admite-se que os processos rápido e lento são completamente independentes: $v_{12} = 0$.
3. “*Modified Second Order Shot Noise*” – MSOSN: Neste $v_1 > v_2$ e os eventos do processo lento ocorrem simultaneamente com alguns eventos do processo rápido: $v_{12} = v_2 < v_1$.

2.5.2.4. Ajuste dos Parâmetros do “Shot Noise” de Segunda Ordem - SOSN

Os modelos são ajustados para preservar média, variância e coeficiente de autocorrelação de primeira ordem das vazões médias diárias e das vazões médias mensais.

As equações para os parâmetros são as seguintes:

$$d(b, T) = 2 \frac{[bT - (1 - e^{-bT})]}{(bT)^2} \quad (2.42)$$

$$e(b, T) = 2 \frac{[(1 - e^{-bT})^2]}{(bT)^2} \quad (2.43)$$

Onde:

$$d_{ij} = d(b_i, T_j)$$

$$e_{ij} = e(b_i, T_j) \text{ com } (i, j = 1, 2)$$

$$T_1 = 1 \text{ dia e } T_2 = 1 \text{ mês}$$

d_{11} = refere-se ao escoamento rápido na escala diária

d_{12} = refere-se ao escoamento rápido na escala mensal

d_{21} = refere-se ao escoamento lento na escala diária

d_{22} = refere-se ao escoamento lento na escala mensal

As equações para b_1 e b_2 são para todos os três modelos dadas por:

$$\rho_{T1}\sigma_{t1}^2 = \frac{(\sigma_{t1}^2 d_{2,2}) - (\sigma_{t2}^2 d_{2,1})}{(d_{2,2} d_{11}) - (d_{1,2} d_{2,1})} e_{1,1} + \frac{(\sigma_{t2}^2 d_{1,1}) - (\sigma_{t1}^2 d_{1,2})}{(d_{2,2} d_{11}) - (d_{1,2} d_{2,1})} e_{2,1} \quad (2.44)$$

$$\rho_{T2}\sigma_{t2}^2 = \frac{(\sigma_{t1}^2 d_{2,2}) - (\sigma_{t2}^2 d_{2,1})}{(d_{2,2} d_{11}) - (d_{1,2} d_{2,1})} e_{1,2} + \frac{(\sigma_{t2}^2 d_{1,1}) - (\sigma_{t1}^2 d_{1,2})}{(d_{2,2} d_{11}) - (d_{1,2} d_{2,1})} e_{2,2} \quad (2.45)$$

Uma vez obtidos b_1 e b_2 calculam-se:

$$SS_1 = \frac{(\sigma_{t1}^2 d_{2,2}) - (\sigma_{t2}^2 d_{2,1})}{(d_{2,2} d_{11}) - (d_{1,2} d_{2,1})} \quad (2.46)$$

$$SS_2 = \frac{(\sigma_{t2}^2 d_{1,1}) - (\sigma_{t1}^2 d_{1,2})}{(d_{2,2} d_{11}) - (d_{1,2} d_{2,1})} \quad (2.47)$$

Para obter as taxas dos eventos e altura média do salto tem-se:

$$SS_1 = \frac{(\nu_1 \theta_1^2)}{b_1} + \frac{(2\nu_{12} \theta_1 \theta_2)}{(b_1 + b_2)} \quad (2.48)$$

$$SS_2 = \frac{(\nu_2 \theta_2^2)}{b_2} + \frac{(2\nu_{12} \theta_1 \theta_2)}{(b_1 + b_2)} \quad (2.49)$$

$$\mu = \frac{(\nu_1 \theta_1)}{b_1} + \frac{(\nu_2 \theta_2)}{b_2} \quad (2.50)$$

Resultam assim cinco equações para seis parâmetros. A sexta equação necessária para determinação completa dos parâmetros depende da relação entre v_1 e v_2 e que no caso do SOSN adotado nesta pesquisa é $v_{12} = v_1 = v_2$.

2.5.3. Modelo DIANA

2.5.3.1. Fundamentação Teórica

O modelo DIANA (KELMAN, 1983) foi desenvolvido no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL – ELETROBRÁS), para ser utilizado em estudos hidrológicos de cheias que afetam o sistema hidrelétrico brasileiro, e modela o escoamento subterrâneo através de um reservatório linear, ajustado para produzir recessões semelhantes às observadas. O escoamento superficial é modelado como um processo intermitente (análogo à precipitação diária) através da censura a um modelo auto-regressivo normal de 1ª ordem, mapeado para preservar a função de distribuição empírica. O trabalho de KELMAN *et al.* (1983) apresenta a extensão para o caso multivariado e sugere, ainda, uma metodologia de avaliação das séries geradas, aplicável a qualquer modelo.

Considera-se que a vazão no dia t da hidrógrafa de um dado posto fluviométrico é dada pela soma de dois componentes:

$$Q(t) = U(t) + O(t); t=1, 2, \dots \quad (2.51)$$

Idealmente, $U(t)$ dependeria de fatores externos (ex.: precipitações) cuja natureza intermitente ocasionaria na hidrógrafa pulsos irregularmente espaçados no tempo. Por outro lado $O(t)$ representaria o contínuo esvaziamento da água armazenada na bacia hidrográfica.

No entanto só se encontram disponíveis registros de vazão total $Q(t)$. Algum método é pois necessário para repartição de $Q(t)$ em seus componentes $U(t)$ e $O(t)$.

A opção adotada no modelo DIANA considera a ocorrência de $u(t)$ positivo sempre que $q(t) > \lambda q(t-1)$, onde $0 \leq \lambda \leq 1$ é uma taxa de recessão característica do posto fluviométrico.

KELMAN (1976) adota $\lambda = 1$ em qualquer caso. Na realidade espera-se que λ seja inferior a 1, e durante o desenvolvimento de DIANA foram testados diversos valores para λ resultando daí uma regra empírica para sua definição, descrita no item de estimação mais adiante.

Para qualquer λ a opção implica que:

$$u(t) = 0 \rightarrow \text{se } q(t) \leq \lambda (q(t-1)) \quad (2.52a)$$

$$u(t) = q(t) - \lambda q(t-1) \rightarrow \text{se } q(t) > \lambda (q(t-1)) \quad (2.52b)$$

Nos dias em que atuam fatores externos (precipitação) ($u(t) > 0$) a vazão total é dada por:

$$q(t) = \lambda q(t-1) + u(t), u(t) > 0 \quad (2.53)$$

E portanto:

$$O(t) = \lambda q(t-1), u(t) > 0 \quad (2.54)$$

Nos dias em que não atuam fatores externos ($u(t) = 0$) a vazão total é dada simplesmente por $O(t)$. KELMAN (1976), considerou $O(t)$ como a soma das defluências de dois reservatórios lineares, cada parcela dependendo de $q(t-1)$ através de uma

equação probabilística. Esta abordagem pode ser simplificada considerando-se apenas um reservatório linear de comportamento estocástico. Assim quando $u(t) = 0$, $O(t)$, e portanto $q(t)$, é uma fração de $k(t) \leq \lambda$ da vazão anterior:

$$q(t) = O(t) = k(t)q(t-1), k(t) \leq \lambda, u(t) > 0 \quad (2.55)$$

Juntando-se as equações 2.52, 53, 54 e 55 o modelo DIANA pode ser descrito por:

$$q(t) = u(t) + k(t)q(t-1)$$

$$u(t) = 0 \rightarrow k(t) \leq \lambda \quad (2.56)$$

$$u(t) > 0 \rightarrow k(t) = \lambda = 1$$

Existem dois aspectos a serem considerados na modelagem do processo $U(t)$:

- Definir sua distribuição de probabilidades marginal, levando-se em conta que existe uma probabilidade finita p de que $U(t)$ seja exatamente igual a zero;
- Preservar a dependência entre os valores sucessivos de $U(t)$, visto que os fatores externos que influenciam os ramos ascendentes da hidrógrafa podem resultar da ação de fenômenos meteorológicos persistentes sobre a bacia hidrográfica (ex.: frente fria estacionária).

KELMAN (1976) resolve estas duas questões mapeando o processo $U(t)$ no processo $Y(t)$ através da transformação do tipo $U(t) = (y(t))^a$. O processo $Y(t)$ é suposto

resultante de uma censura imposta a um processo auto-regressivo de primeira ordem com distribuição normal, em que todas as observações negativas foram “perdidas”. Esta representação paramétrica de $U(t)$ permite a estimação dos parâmetros envolvidos (inclusive ρ , a autocorrelação do processo não censurado, e α através do método da máxima verossimilhança.

A aplicação deste método a rios brasileiros revelou em diversos casos um mau ajuste à distribuição de frequências empíricas de $U(t)$, $F_U(\cdot)$. O modelo DIANA adota a própria distribuição empírica, $F_U(\cdot)$, visto que usualmente dispõe-se de um grande número de observações de $u(t)$. Quanto à questão da dependência de $U(t)$ e $U(t-1)$, o modelo DIANA, analogamente a KELMAN (1976), assume a existência de um processo autoregressivo normal de primeira ordem com censura, cujo coeficiente de autocorrelação ρ deve ser preservado. Este processo é mapeado em $U(t)$ através de uma transformação não paramétrica que deve preservar a distribuição empírica $F_U(\cdot)$, conforme a seguir exposto.

Seja o processo markoviano $Z(t)$ definido por:

$$z(t) = \rho z(t-1) + \sqrt{1-\rho^2} \varepsilon(t) \quad (2.57)$$

Onde $\varepsilon(t)$ é um ruído normal padrão e ρ a correlação *lag-one* do processo markoviano.

Seja o processo $Y(t)$ resultado de uma censura imposta ao processo $Z(t)$ definida por:

$$y(t) = z(t) \rightarrow \text{se } z(t) > \beta$$

$$y(t) = \beta \rightarrow \text{se } z(t) \leq \beta \quad (2.58)$$

$$\beta = \Phi^{-1}(p)$$

Onde β define o intervalo de censura $(-\infty, \beta)$, $\Phi(\cdot)$ é a distribuição acumulada normal, e $p = P[u(t)=0]$.

A relação entre $U(t)$ e $Y(t)$ é obtida resolvendo-se $F_U(u(t)) = \Phi(y(t))$.

Para a modelagem da série de $k(t)$'s assume-se que seja suficientemente simples usar para a geração de valores sintéticos a distribuição empírica de $k(t)$ menor que λ , $F_k(\cdot)$, sempre que $u(t)=0$.

2.5.3.2. Geração de Séries

O algoritmo de geração de séries compõe-se então dos seguintes passos:

1. Sortear uma vazão inicial $q(0)$ de uma distribuição empírica $F_{Q0}(\cdot)$.
2. Sortear um valor inicial $z(0)$ da distribuição normal padrão $\Phi(\cdot)$.
3. Fazer $t=1$.
4. Sortear um ruído $\varepsilon(t)$ da distribuição normal-padrão $\Phi(\cdot)$.
5. Calcular $z(t)$ (2.57) e fazer $y(t) = \max(\beta, z(t))$.
6. Obter $u(t)$ resolvendo: $F_U(u(t)) = \Phi(y(t))$.

A aproximação é necessária porque $F_U(\cdot)$ é uma distribuição discreta e $\Phi(\cdot)$ é contínua (este tópico será visto mais detalhadamente no próximo item).

7. Se $u(t) > 0$ obter $q(t) = u(t) + \lambda q(t-1)$. Se $u(t)=0$, sortear $k(t)$ de $F_k(\cdot)$ e obter $q(t) = k(t)q(t-1)$.
8. Fazer $t=t+1$ e retornar a 4.

2.5.3.3. Estimação dos Parâmetros

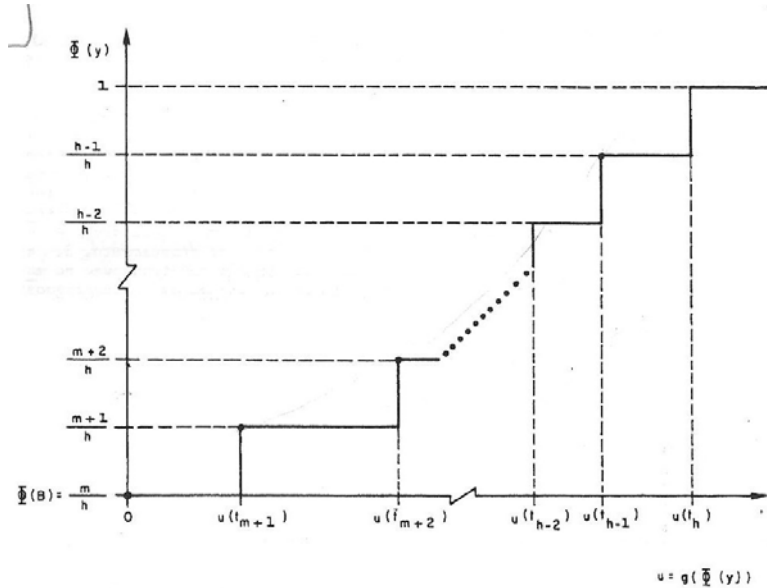
Dada uma série histórica de vazões diárias $q(0), q(1), \dots, q(h)$ e para uma particular taxa de recessão característica λ , é possível obter a série $u(1), u(2), \dots, u(h)$ correspondente através de 2.52a e b.

Para obtenção da correspondente série de $y(t)$, a série $u(t)$ é arrumada no vetor: $W=(u(t_1), u(t_2), \dots, u(t_h))$, de tal forma que $u(t_1) \leq u(t_2) \leq \dots \leq u(t_h)$.

Seja m o número de zeros na série $u(t)$. A estimativa de p é dada por $p_{est} = m/h$.

A função que mapeia $y(t)$ em $u(t)$ é dada por $u(t) = g[\Phi(y(t))]$, de acordo com a figura 2.1.

FIGURA 2.1. RELAÇÃO NÃO-PARAMÉTRICA ENTRE $Y(T)$ E $U(T)$ (FIGURA RETIRADA DO ARTIGO DE KELMAN, 1983)



Nesta função, para cada $u(t_j) > 0$ existe um intervalo associado $[d_j, e_j]$ relacionado com a sua posição j no vetor ordenado W , tal que:

$$\phi(d_j) = \frac{j-1}{h}, j \geq m+1 \quad (2.59)$$

$$\phi(e_j) = \frac{j}{h}, j \geq m+1 \quad (2.60)$$

Para $u(t_j) = 0$ só existe um valor associado:

$$y(t_j) = \beta, \phi(\beta) = \frac{m}{h} = \hat{p} \quad (2.61)$$

A função g é útil no passo 6 do esquema de geração para obtenção de $u(t)$ através da solução da equação $F_U(u(t)) \approx \Phi(y(t))$, fazendo-se simplesmente $u(t) = g[\Phi(y(t))]$. Por outro lado a função g não é biunívoca e conseqüentemente fica difícil a obtenção das séries históricas dos $y(t)$'s: quando $u(t_j) > 0$, é impossível se obter exatamente o valor de $y(t_j)$ correspondente, conhecendo-se apenas um intervalo viável, $d_j < y(t_j) < e_j$.

A abordagem adotada consiste em se associar a cada $u(t_j) > 0$ o valor mediano do intervalo correspondente:

$$\phi(y(t_j)) = \frac{1}{2} [\phi(d_j) + \phi(e_j)] \rightarrow y(t_j) = \begin{cases} \phi^{-1}\left(\frac{j-1/2}{n}\right) \rightarrow p/u(t_j) > 0 \\ \beta \rightarrow p/u(t_j) = 0 \end{cases} \quad (2.62)$$

Em resumo, ordenada a série $u(t)$, é possível, através das equações 2.59, 2.60, 2.61 e 2.62 obter a realização do processo $Y(t)$. Esta realização pode ser considerada como uma amostra censurada do processo markoviano padrão de $z(t)$ definido por (2.57) com intervalo de censura $(-\infty, \beta)$. O parâmetro ρ poderia ser estimado por máxima verossimilhança, de acordo com o método proposto por KELMAN (1976). De

forma mais simples, se os valores nulos de $u(t)$ forem eliminados do registro, a amostra resultante pode ser considerada como uma amostra truncada de $z(t)$ com nível de truncamento em β . A estimativa do parâmetro ρ pode ser feita considerando-se os pares contíguos ($y(t) > \beta, y(t+1) > \beta$) resultantes como uma amostra da distribuição bivariada normal padrão truncada identicamente nas duas variáveis. REIGER et al. (1971) apresentam uma tabela que relaciona a correlação na distribuição truncada, ρ' , o nível de truncamento, β , e o coeficiente de correlação ρ na distribuição não truncada. No modelo DIANA, β é obtido por (2.61) e ρ_{est} usando-se todos pares contíguos ($y(t) > \beta, y(t+1) > \beta$) em:

$$\hat{\rho}' = \frac{\sum (y(t) - \bar{y}_t)(y(t+1) - \bar{y}_{t+1})}{\sqrt{\sum (y(t) - \bar{y}_t)^2 (y(t+1) - \bar{y}_{t+1})^2}} \quad (2.63)$$

$$\bar{y}_t = \frac{\sum y(t)}{n} \quad (2.64)$$

$$\bar{y}_{t+1} = \frac{\sum y(t+1)}{n} \quad (2.65)$$

Onde n é o número de pares contíguos obtidos. A estimativa de ρ é obtida entrando-se na tabela com ρ_{est}' e β .

Também é possível obter a relação entre ρ e ρ' pelo método de Monte Carlo. Fixa-se um valor para ρ e geram-se números aleatórios normais usando a equação (2.57). Truncam-se estes números em β e calcula-se ρ' através da equação (2.62).

2.6. CRITÉRIO DA ANEEL PARA ENERGIA ASSEGURADA

Segundo a Resolução Normativa da ANEEL nº 62, de 05 de maio de 2004, com base na Resolução Normativa da ANEEL nº 169, de 2001, que estabelece os procedimentos para o cálculo do montante correspondente à energia de referência de empreendimentos de geração de energia elétrica, para fins de participação no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, o cálculo da energia de referência, considerada igual à energia assegurada, deve seguir as seguintes informações:

a) o histórico das vazões médias mensais de vazão referentes aos últimos trinta anos, no mínimo, contados retroativamente a partir do penúltimo ano em relação à data de solicitação, devendo este estar em conformidade com o histórico de vazões apresentado no projeto básico aprovado.

b) o detalhamento da metodologia de obtenção do histórico de vazões especificado na alínea anterior;

c) o valor da vazão remanescente do aproveitamento;

d) o valor do rendimento do conjunto turbina-gerador, da queda bruta média e das perdas hidráulicas;

e) o valor da potência instalada;

f) o montante do consumo interno; e

g) o valor esperado da Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada – TEIF e da Taxa Equivalente de Indisponibilidade Programada – TEIP (Resolução ANEEL nº 169, de 2001).

De posse dessas informações o montante de energia de referência de cada Central Geradora de Energia Elétrica - CGEE , no caso de PCHs, deverá ser calculado pela ANEEL por intermédio da seguinte equação:

$$ER = \frac{[\bar{E}(1-TEIF)(1-TEIP)]}{1000} (MW_{\text{médio}}) \quad (2.65)$$

Sendo:

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} (KW_{\text{médio}}) \quad (2.66)$$

$$E_i = (Q_i - q_r) \rho, \text{ com } (E_i \leq P(KW_{\text{médio}})) \quad (2.67)$$

$$\rho = 9,81(H_b - h) \eta_{tg} \left[(KWs / m^3) \right] \quad (2.68)$$

Onde:

ER = energia de referência

\bar{E} = valor esperado de produção considerando 100 % de disponibilidade

E_i = capacidade de produção da PCH considerando-se o valor de Q_i integrante do histórico Q das médias mensais de vazão, subtraído da vazão remanescente “ q_r ”

$Q_i (m^3/s)$ = vazão média do mês i

$q_r (m^3/s)$ = vazão remanescente

ρ = produtibilidade média da PCH

n = número de meses do histórico de vazões

$H_b (m)$ = altura de queda bruta

$h (m)$ = altura correspondente às perdas hidráulicas

$\eta_{ig} (\%)$ = rendimento do conjunto turbina-gerador

$TEIF (\%)$ = taxa equivalente de indisponibilidade forçada

$TEIP (\%)$ = taxa equivalente de indisponibilidade programada

Pela Resolução Normativa ANEEL nº 169/2001:

$$TEIF = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (HI_{FI} Pot_i) \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (HPPot_i) \right]} \quad (2.69)$$

$$TEIP = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (HI_{PI} Pot_i) \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (HPPot_i) \right]} \quad (2.70)$$

Onde:

n = número de máquinas da central

HI_{Fi} = horas indisponíveis forçadas da unidade i

HI_{Pi} = horas indisponíveis programadas da unidade i

HP = total de horas de análise

Pot_i = potência da unidade i

Cabe ressaltar os dizeres incluídos pela Resolução Normativa nº 269, de 19 de junho de 2007, a qual inclui no artigo quinto da Resolução Normativa nº 062/2004, que executando o caso de PCH participante do MRE, a energia de referência de uma

CGEE será revista, se a média da energia gerada nos primeiros 24 meses for inferior a 85 % da energia de referência vigente.

3. MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa está dividida em duas etapas. A primeira na geração das séries sintéticas de vazões diárias por dois modelos estocásticos diretos clássicos, SOSN (WEISS, 1977) e DIANA (KELMAN, 1983), a fim de adotar aquele que reproduzir melhor as características da série histórica, em um conjunto de estações fluviométricas representativas das principais bacias hidrográficas da região sul do Brasil.

Escolhido o modelo, é proposto um método de regionalização dos parâmetros deste. Como métodos de regionalização foram utilizadas técnicas de regressão múltipla em função de características fisiográficas, localização geográfica e precipitação. Bem como, para o parâmetro da recessão subterrânea, técnicas geoestatísticas de interpolação espacial tais como *kriging* e ponderação por distância inversa.

Como produto final, objetiva-se obter um modelo que permita determinar de modo eficaz e preciso a energia garantida incremental de uma usina, tipo PCH, localizada em um ponto arbitrário dentro da região sul brasileira através da fórmula proposta por FILL (1989).

As principais etapas da pesquisa, para atender os objetivos específicos listados no capítulo 1, são:

- Definição do ano hidrológico e análise da sazonalidade;
- Escolha de estações fluviométricas chave das principais bacias hidrográficas da região sul do Brasil, para teste e comparação dos modelos estocásticos SOSN e DIANA;
- Analisar a consistência dos dados fluviométricos das estações chave;
- Obter estatísticas das séries históricas das estações fluviométricas chave;
- Determinar para as estações fluviométricas chave os parâmetros dos modelos estocásticos SOSN e DIANA;

- Utilizar os modelos estocásticos SOSN (WEISS, 1977) e DIANA (KELMAN, 1983) para geração de séries sintéticas de vazões médias diárias e calcular as estatísticas de comparação;
- Determinar qual modelo estocástico (SOSN ou DIANA) reproduz melhor as características das séries históricas através das estatísticas de comparação, e adotá-lo para geração de séries sintéticas de vazões médias diárias, sendo as principais estatísticas de comparação o máximo déficit acumulado e as médias móveis de 5 anos (ordem de grandeza da extensão do período crítico);
- Escolher um conjunto de estações fluviométricas distribuídas nas principais bacias hidrográficas da região sul do Brasil;
- Calcular os parâmetros de entrada do modelo escolhido nessas estações, procurando correlacioná-los às características fisiográficas, climáticas e de localização;
- Propor um modelo para regionalizar esses parâmetros;
- Realizar um estudo de caso para aplicação do método proposto, a fim de calcular a energia garantida incremental pela fórmula de FILL (1989) e compará-la com a energia assegurada pelo método da ANEEL (2001);

Cabe ressaltar, que para pesquisa serão utilizados registros fluviométricos da região sul do Brasil, para bacias hidrográficas com área inferior a 5000 km².

3.1. ANÁLISE DO ANO HIDROLÓGICO E SAZONALIDADE

A região sul do Brasil, base deste estudo, possui chuvas bem distribuídas anualmente, não acarretando uma diferença sazonal bem definida nas vazões dos rios. Logo, o ano hidrológico foi estabelecido como sendo o mesmo do calendário, de janeiro a dezembro, para a geração de séries sintéticas.

Porém, como as energias geradas para a PCH do estudo de caso serão correlacionadas com as energias do sistema, nesta seção do estudo será utilizado o

ano hidrológico de maio a abril do próximo ano. Determinan-se para cada mês a energia média de todos os anos disponíveis na série histórica (1931-1980), sendo esses valores divididos pela energia afluente média de longo termo (NEIRA, 2005), observa-se que os meses de maio a novembro apresentam a razão inferior à unidade, enquanto nos demais é superior à unidade. Como é comum utilizar o ano hidrológico iniciando no período seco, foi determinado o ano hidrológico de maio a abril do próximo ano para o cálculo da energia garantida incremental pelo método de FILL (1989).

3.2. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS CHAVE

Foram selecionadas quatro estações chave para análise dos modelos. Tais estações foram escolhidas seguindo alguns critérios:

1. Pertencer a sub-bacias hidrográficas diferentes na região sul do Brasil;
2. Possuir menos de 5000 km² de área;
3. Possuir uma série de dados histórica consistida pela ANA (Agência Nacional de Águas) e com o mesmo período de tempo.

Seguindo estes pré-requisitos básicos, escolheram-se as seguintes estações:

TABELA 3.1.a.: DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES CHAVE

Estação	Bacia	Sub-Bacia	Rio	Munic./Estado
Abelardo Luz	Rio Uruguai (7)	Rio Chapecó (73)	Rio Chapecó	Abelardo Luz/SC
Passo Marombas	Rio Uruguai (7)	Rio Canoas (71)	Rio Marombas	Curitibanos/SC
Rio dos Patos	Rio Paraná (6)	Rio Ivaí (64)	Rio dos Patos	Prudentópolis/Pr
Santa Clara	Rio Paraná (6)	Rio Iguaçu (65)	Rio Jordão	Candói/Pr

TABELA 3.1.b.: DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES CHAVE

Estação	Resp.	Operadora	Coordenadas		Área (Km ²)	Série Utilizada
			Latitude	Longitude		
Abelardo Luz	ANA	CPRM	(-26:33:22)	(-52:19:51)	1850	1973-2002
Passo Marombas	ANA	CPRM	(-27:19:51)	(-50:45:3)	3654	1973-2002
Rio dos Patos	ANA	SUDERHSA	(-25:12:30)	(-50:56:37)	1086	1973-2002
Santa Clara	ANA	SUDERHSA	(-25:38:17)	(-51:58:2)	3913	1973-2002

3.3. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

Em relação à análise de consistência, as estações têm os dados consistidos pela ANA, mesmo assim, foi realizada uma análise de consistência referente aos dados de vazões médias diárias, para verificar se haviam valores absurdos e/ou falhas na série histórica.

Para as estações chave utilizou-se o período comum de 1973 a 2002, apenas na estação Abelardo Luz foram encontradas falhas, em um dia no mês 02/1991 e dois dias no mês 10/1994. Todos os valores encontravam-se em processo de recessão, o que facilitou o preenchimento, sendo estes preenchidos plotando os valores de vazão contra o tempo (dias) e encaixando no hidrograma valores que melhor se adaptavam às curvas de recessão.

3.4. ESTATÍSTICAS DA SÉRIE HISTÓRICA DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS CHAVE

As estatísticas da série histórica foram calculadas pelo método dos momentos, através de programação computacional, pela linguagem FORTRAN, sendo o algoritmo desenvolvido pelo autor, com base em livros de estatística, e tal algoritmo encontra-se anexo a este estudo.

O algoritmo desenvolvido para cálculo das estatísticas diárias e mensais da série histórica foi nomeado de VAZDIARIO, e objetivou o cálculo das estatísticas a seguir todas retiradas do livro *Econometric Analysis* de GREENE (2002). Estas servem para posterior comparação com as séries geradas no modelo estocástico, a fim de se definir o melhor modelo,:

1. Vazão Média de Longo Termo;

$$\bar{X} = \frac{\sum X(t)}{n} \quad (3.1)$$

Onde:

\bar{X} - vazão média de longo termo

$X(t)$ – vazões diárias no tempo t

n – números de dias

2. Desvio Padrão Mensal e Diário;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X(t) - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (3.2)$$

Onde:

σ – desvio padrão

$X(t)$ – vazões diárias ou médias mensais no tempo t

\bar{X} - média de longo termo mensal ou diária

n – números de dias ou meses

3. Variância Mensal e Diária;

$$\sigma^2 = \frac{\sum (X(t) - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (3.3)$$

Onde:

σ^2 – variância

$X(t)$ – vazões diárias ou mensais no tempo t

\bar{X} - média de longo termo mensal ou diária

n – números de dias ou meses

4. Coeficiente de Autocorrelação *lag-one* Mensal e Diária;

$$\rho(1) = \frac{\sum (X(t) - \bar{X}_{(t)}) (X(t+1) - \bar{X}_{(t+1)})}{\sum (X(t) - \bar{X}_{(t)})^2} \quad (3.4)$$

Onde:

$\rho(1)$ – coeficiente de autocorrelação *lag-one*

$X(t)$ – vazões diárias ou mensais no tempo t

$X(t+1)$ – vazões diárias ou mensais no tempo $t+1$

$\bar{X}_{(t)}$ - média de longo termo mensal ou diária do tempo t

3.5. MODELOS ESTOCÁSTICOS DE GERAÇÃO DE VAZÕES SINTÉTICAS DIÁRIAS SOSN E DIANA

3.5.1. Algoritmo de Geração SOSN (WEISS,1977)

O modelo estocástico de geração de séries sintéticas de vazões médias diárias SOSN, descrito no capítulo 2, foi desenvolvido através de três algoritmos programados em linguagem FORTRAN. O primeiro chamado de VAZDIARIO, o qual calcula as estatísticas da série histórica, o segundo, denominado SOSN1, o qual estima os parâmetros de entrada do modelo e o terceiro, SOSN2, executa a geração de 100 séries sintéticas de 30 anos e calcula as estatísticas de cada série para comparação com a série histórica.

Os passos dos três algoritmos dos programas desenvolvidos são descritos a seguir:

3.5.1.1. Estimação dos Parâmetros – Programas VAZDIARIO e SOSN1

- 1- Calcula: média, desvio padrão, variância e autocorrelação (diária e mensal da série histórica) - VAZDIARIO
- 2- Calcular os parâmetros de entrada do modelo estocástico: (SOSN1)

2.1. Cálculo dos estimadores de b_1 (coeficiente de recessão superficial) e b_2 (coeficiente de recessão do escoamento de base):

(a). Plotam-se gráficos de $LN Q(t)$ em função do tempo em dias para várias recessões (sub-superficial e subterrânea), acha-se a equação da reta ($y=a+bx$), para ambas recessões, e por fim os valores de b_1 e b_2 são calculados como e^b .

(b). Calcula-se $d_{1,1}$, $d_{1,2}$, $d_{2,1}$ e $d_{2,2}$ (eq. 2.42); e ainda $e_{1,1}$, $e_{1,2}$, $e_{2,1}$ e $e_{2,2}$ (eq. 2.43).

(c). Verifica-se b_1 e b_2 pelas equações 2.44 e 45.

(d) Se satisfeitas as equações segue-se para o próximo passo, caso contrário, variam-se em n iterações entre +/- 10% de b_1 e b_2 até achar valores que satisfaçam as equações 2.44 e 45.

2.2. Cálculo de θ_1 e θ_2 (relacionado ao tamanho do pulso, ou seja, o volume da chuva):

(a). Calcula-se SS_1 e SS_2 (eq. 2.46 e 47)

(b). Através da resolução de um sistema não linear de equações (eq. 2.48, 49 e 50) pelo método de cálculo numérico de Newton-Raphson, encontra-se os valores de θ_1 , θ_2 e v , utilizando como artifício após o cálculo da matriz Jacobiana

o método numérico de resolução de sistemas lineares por Gauss-Jordan, com pivotamento total.

* Adendo: Método de Newton-Raphson → Para n dimensões, o método tem a fórmula:

$$X(k+1) = X(k) - J_{X(k)}^{-1} * f(X(k)) \quad (3.5)$$

Onde $J_{X(k)}$ é a matriz jacobiana de f . Resolve-se o seguinte sistema linear, pois a matriz jacobiana assume valores fixos, pelo método numérico de Gauss-Jordan com pivotamento total, em ordem ao passo δ_k :

$$J_{X(k)} * \delta(k) = -f(X(k)) \quad (3.6)$$

E define-se a nova iteração como:

$$X(k+1) = X(k) + \delta(k) \quad (3.7)$$

3.5.1.2. Geração de vazões médias diárias – Programa SOSN2

O algoritmo de geração difere um pouco do descrito no capítulo 2, pois está desenvolvido para duas recessões (b_1 e b_2) e dois saltos (θ_1 e θ_2), ou seja, termos duas contribuições, uma superficial e outra subterrânea.

Antes de descrever o algoritmo, cabe ressaltar que a simbologia utilizada está relatada a seguir, para facilitar a leitura do algoritmo em anexo:

$X1R1(t)$ = Equação 2.40 para recessão superficial

$X1R2(t)$ = Equação 2.40 para recessão lenta

$X2R1(t)$ = Equação 2.41 para recessão superficial

$X2R2(t)$ = Equação 2.41 para recessão lenta

$A1R1(t)$ = Equação 2.40 para recessão superficial, com acréscimo do volume de chuva

$A1R2(t)$ = Equação 2.40 para recessão lenta, com acréscimo do volume de chuva

$A2R1(t)$ = Equação 2.41 para recessão superficial, com acréscimo do volume de chuva

$A2R2(t)$ = Equação 2.41 para recessão lenta, com acréscimo do volume de chuva

$QD(t)$ = vazão média diária gerada

Geração das Séries Sintéticas de Vazões Médias Diárias:

(i). Os primeiros valores da eq. 2.40 são nulos, sendo: $X1R1(0) = 0, 0 = X1R2(0)$.

(ii). Calcula os primeiros termos das eq. 2.41 \rightarrow com $X2R1(0) = QMLT$ (vazão média de longo termo), para b_1 e $X2R2(0) = 0,5(QMLT)$, para b_2 ;

(iii). Considerando $m = 0$ e $\tau_0 = 0$, para o processo rápido e lento, pois são considerados simultâneos, gera $m = 1 \rightarrow \tau_1 = \tau_0 + w$, com $w = \frac{1}{\nu}(-\ln U)$, sendo U , um número aleatório uniforme entre 0 e 1.

(iv). Se $\tau_1 > 1$, encerra-se o processo e $X1R1(t+1)$ e $X1R2(t+1)$ e, $X2R1(t+1)$ e $X2R2(t+1)$ estão completos, e a vazão $QD(t+1) = X1R1(t+1) + X1R2(t+1)$.

(v). Se $\tau_1 < 1$ gera-se $y_1 = \theta(-\ln U)$, para θ_1 e θ_2

(vi). Calcula-se o segundo termo das eq. 2.40 e 41 e soma-se aos primeiros termos.

(vii). Considera-se $m = 1$ e gera $m = 2 \rightarrow \tau_2 = \tau_1 + w$ e repetem-se os passos de (iv) a (vii).

3.5.2. Modelo DIANA (KELMAN, 1983)

O modelo estocástico de geração de séries sintéticas de vazões médias diárias DIANA, descrito no capítulo 2, foi desenvolvido através de três algoritmos programados em linguagem FORTRAN. O primeiro chamado de VAZDIARIO, calcula as estatísticas da série histórica. O segundo, denominado DIANA1, escreve como saída um vetor das vazões médias diárias, com intuito de se estimar o parâmetro λ , estima o valor do parâmetro β , calcula a série $u(t)$ e o coeficiente de autocorrelação truncado da série $u(t)$.

O terceiro programa, DIANA2, estima o coeficiente de autocorrelação do processo não censurado, executa a geração de 100 séries sintéticas de 30 anos e calcula as estatísticas de cada série para comparação com a série histórica.

Os passos dos três algoritmos dos programas desenvolvidos são descritos a seguir.

3.5.2.1. Estimação dos parâmetros - Programas VAZDIARIO e DIANA1

O parâmetro λ , considerado igual a um *a priori*, é calculado por tentativas, a fim de que a série represente o mais próximo possível a vazão média de longo termo. Ainda, este parâmetro tem como correspondente, para se achar os valores de recessão, o parâmetro $k(t)$, o qual foi estimado a partir das recessões da série histórica. Para isso, criou-se um vetor dos valores de recessão das vazões médias diárias da série histórica, censurado em λ , e ordenou-se todos os valores crescentemente. Após isto, foi verificado o número de dias com recessão e calculou-se a probabilidade de cada valor de recessão, tendo assim, a curva de distribuição de probabilidades dos valores de recessão.

O valor de β foi estimado calculando-se o número de valores nulos na série $u(t)$, ou seja, os dias de recessão e posteriormente dividindo pelo número total da série histórica de $u(t)$.

Para a estimação do parâmetro ρ , coeficiente de autocorrelação do processo não censurado, primeiramente calculou-se o valor do coeficiente de autocorrelação truncado da série $u(t)$ histórica (para $u(t)$ maiores que zero). A sequência da estimação foi dada pelo método de Monte Carlo, onde, foi gerada uma série sintética de números aleatórios normais com média zero e desvio padrão um, e transformados em valores de uma série de $z(t)$, pela equação (2.57), com um coeficiente de autocorrelação do processo não censurado arbitrário.

Se ao final da geração dos valores da série $z(t)$, o coeficiente de autocorrelação desta série tiver um erro menor que 0,001%, em relação ao coeficiente de autocorrelação truncado da série de $u(t)$ histórica, então, é adotado o valor do coeficiente de autocorrelação do processo não censurado arbitrário como o valor do parâmetro desejado, caso contrário, varia-se o coeficiente de autocorrelação do processo não censurado até que a condição seja satisfeita.

3.5.2.2. Geração de vazões médias diárias – Programa DIANA2

1. Arbitra-se um λ e calculam-se os parâmetros de entrada do modelo;
2. Inicia-se com $QD(0) = QMLT$ (vazão média de longo termo);
3. Inicia-se com o primeiro valor de $z(0) = 0,0$ (média);
4. Faz-se $t=1$;
5. Sorteia-se um ruído $\varepsilon(t)$ da distribuição normal-padrão ($N(0,1)$);
6. Calcula-se $z(t)$ pela equação 2.57 e transforma para $y(t)=\max(\beta,z(t))$, sendo $y(t) = \beta$, se o valor de $z(t)$ for menor ou igual a β , ou $y(t) = z(t)$, se o valor de $z(t)$ for maior que β ;

7. Obtem-se $u(t)$ resolvendo: $F_U(u(t)) = \Phi(y(t))$, ou seja, da série de $y(t)$, verifica-se qual valor de $u(t)$ corresponde à mesma probabilidade de ocorrência;

A aproximação é necessária porque $F_U(.)$ é uma distribuição discreta e $\Phi(.)$ contínua;

8. Se $u(t) > 0$ obter a vazão $q(t)$ da eq. 2.56, sendo $\lambda = 1$. Se $u(t)=0$, sortear $k(t)$, gerando-se um número uniforme entre zero e um e entrando na curva da distribuição de probabilidades dos valores de recessão da série histórica, de $F_k(.)$ e obter $q(t)$ de 2.56.
9. Fazer $t=t+1$ e retornar a 4.
10. Certifica-se os valores encontrados para as estatísticas, e caso não seja satisfatório, altera-se o λ , voltando-se ao passo 1.

3.6. ESCOLHA DO MODELO

Os modelos estocásticos diretos de geração de vazões diárias em sua essência foram desenvolvidos para o estudo de vazões máximas. Devido aos autores dos modelos estarem preocupados com as vazões máximas, outros pesquisadores que trabalharam com modelos estocásticos diretos de vazões diárias perceberam um problema em relação ao número de dias de recessão consecutivos gerados e vazões mínimas abaixo do que fisicamente poderia se esperar. Isto é um fator preocupante para este trabalho, como as séries geradas são transformadas em energias, toda a série de vazões gerada é importante.

Tendo em vista esse problema, o processo de escolha do modelo é peça chave para que esta pesquisa seja eficaz. Por tal fator, o modelo escolhido, além de preservar as estatísticas básicas em relação à série histórica, deve preservar, principalmente, as mínimas médias móveis de 5 anos e o máximo déficit acumulado, para regularização fictícia de um reservatório a 80% da vazão média de longo termo. Preservando estas estatísticas pode-se garantir que, mesmo o modelo gerando vazões mínimas

fisicamente impossíveis, ele não irá alterar os dados de energia obtidos das vazões geradas.

Estes dois parâmetros de escolha, se preservados, garantem que o período crítico de energias gerado não será significativamente diferente do encontrado historicamente.

Além das estatísticas básicas de entrada para os modelos estocásticos, como média, desvio padrão, variância e coeficiente de autocorrelação *lag-one*, foi realizado um estudo para comparação da assimetria e curtose, das vazões máximas e mínimas, e as mínimas médias móveis de 5 anos e o máximo déficit acumulado.

A descrição das estatísticas de escolha dos modelos que não foram expostas no item 3.4 seguem abaixo, todas retiradas do livro *Econometric Analysis* de GREENE (2002):

1. Assimetria Mensal e Diária;

$$\sigma^3 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum (X(t) - \bar{X})^3}{s^3} \quad (3.8)$$

Onde:

σ^3 – assimetria

$X(t)$ – vazões diárias ou mensais no tempo t

\bar{X} - média de longo termo mensal ou diária

n – números de dias ou meses

s – desvio padrão

2. Curtose Mensal e Diária;

$$\sigma^4 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum (X(t) - \bar{X})^4}{(s^2)^2} \quad (3.9)$$

Onde:

σ^4 – curtose

$X(t)$ – vazões diárias ou mensais no tempo t

\bar{X} - média de longo termo mensal ou diária

n – números de dias ou meses

s^2 – variância

3. Máximo Déficit Acumulado;

$$\begin{aligned} D(0) &= 0 \\ D(t) &= \max \begin{cases} D(t-1) + Q_r - Q(t) \\ 0 \end{cases} \text{ para } t=1,2,\dots,n \\ D_{\max} &= \max[D(t)] \end{aligned} \quad (3.10)$$

Onde:

$D(t)$ – déficit no tempo t

Q_r – vazão a ser regularizada ou vazão firme

$Q(t)$ – vazão no tempo t

D_{\max} - máximo déficit acumulado

Salienta-se que, no presente estudo utilizou-se a vazão regularizada Q_r como 80% da vazão média de longo termo, o que corresponde, aproximadamente, a relação entre energia firme e energia média do Sistema Integrado do Brasil.

4. Média das Vazões Máximas e Mínimas Médias Diárias de cada ano;

$$Q_{m\acute{a}x}(i) = m\acute{a}x[Q(t)] \quad (3.11)$$

$$\overline{Q}_{m\acute{a}x} = \sum_1^i [Q_{m\acute{a}x}(i)] \quad (3.12)$$

$$Q_{m\grave{i}n}(i) = m\grave{i}n[Q(t)] \quad (3.13)$$

$$\overline{Q}_{m\grave{i}n} = \sum_1^i [Q_{m\grave{i}n}(i)] \quad (3.14)$$

Onde:

$Q_{m\acute{a}x}(i)$ - vazões máximas diárias do ano i

$\overline{Q}_{m\acute{a}x}$ - média das vazões máximas diárias dos anos i

$Q_{m\grave{i}n}(i)$ - vazões mínimas diárias do ano i

$\overline{Q}_{m\grave{i}n}$ - média das vazões mínimas diárias dos anos i

5. Máxima e Mínima das Máximas Vazões Médias Diárias de cada ano

A partir de (3.11):

$$Q_{máxmáx} = máx[Q_{máx}(i)] \quad (3.15)$$

$$Q_{máxmin} = mín[Q_{máx}(i)] \quad (3.16)$$

Onde:

$Q_{máxmáx}$ - vazão máxima das máximas diárias de cada ano

$Q_{máxmin}$ - vazão mínima das máximas diárias de cada ano

6. Máxima e Mínima das Mínimas Vazões Médias Diárias de cada ano.

A partir de (3.13):

$$Q_{mín máx} = máx[Q_{mín}(i)] \quad (3.17)$$

$$Q_{mín mín} = mín[Q_{mín}(i)] \quad (3.18)$$

Onde:

$Q_{mín máx}$ - vazão máxima das mínimas diárias de cada ano

$Q_{mín mín}$ - vazão mínima das mínimas diárias de cada ano

7. Máxima e Mínima das Máximas Vazões Médias Mensais de cada ano

A partir de (3.1), com $n=dias\ do\ mês$, e $t=1,...n$, para cada mês da série histórica utilizada:

$$Q_{máx}(i) = máx[\overline{Q}(j)] \quad (3.19)$$

$$Q_{máxmáx} = máx[Q_{máx}(i)] \quad (3.20)$$

$$Q_{máx\min} = mín[Q_{máx}(i)] \quad (3.21)$$

Onde:

$\overline{Q}(j)$ - vazões médias mensais

$Q_{máx}(i)$ - máxima vazão média mensal de cada ano i

$Q_{máxmáx}$ - máxima das máximas vazões médias mensais de cada ano i

$Q_{máx\min}$ - mínima das máximas vazões médias mensais de cada ano i

8. Máxima e Mínima das Mínimas Vazões Médias Mensais de cada ano.

A partir de (3.1), com $n=dias\ do\ mês$, e $t=1,...n$, para cada mês da série histórica utilizada:

$$Q_{mín}(i) = mín[\overline{Q}(j)] \quad (3.22)$$

$$Q_{\min\max} = \max[Q_{\min}(i)] \quad (3.23)$$

$$Q_{\min\min} = \min[Q_{\min}(i)] \quad (3.24)$$

Onde:

$\bar{Q}(j)$ - vazões médias mensais

$Q_{\min}(i)$ - mínima vazão média mensal de cada ano i

$Q_{\min\max}$ - máxima das mínimas vazões médias mensais de cada ano i

$Q_{\min\min}$ - mínima das mínimas vazões médias mensais de cada ano i

9. Mínima Média Móvel de 05 anos

A partir de (3.1) realizar a média das vazões diárias de cinco em cinco anos, de 1 até n anos da série histórica, sendo que o número de amostras de médias móveis será o número total de anos da série histórica, menos o número de anos do intervalo das médias móveis desejáveis. Após isto:

$$QMM_{\min} = \min[QMM(k)] \quad (3.25)$$

Onde:

$QMM(k)$ - média móvel de 5 anos do período de anos k

QMM_{\min} - mínima média móvel de 5 anos da série histórica

10. Média dos Dias sem Chuva e Máximo Número de Dias Consecutivos sem Chuvas

A partir das estações pluviométricas mais próximas das estações fluviométricas chave, foram calculadas as estatísticas da média dos dias consecutivos sem chuva e o máximo período consecutivo de dias sem chuva.

TABELA 3.2.: DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES CHAVE PLUVIOMÉTRICAS

Estação Fluviométrica	Estação Pluviométrica	Código ANA	Período Utilizado
Abelardo Luz	Abelardo Luz	2652000	1958-2001
Passo Marombas	Passo Marombas	2750009	1959-2005
Rio dos Patos	Rio dos Patos	2550000	1960-1998
Santa Clara	Santa Clara	2551004	1982-1997

3.6.1. Resultados para escolha do Modelo

A seguir encontram-se as tabelas com os valores calculados das estatísticas da série histórica e dos modelos SOSN e DIANA, a fim de se determinar qual modelo é mais eficiente para o propósito deste estudo.

TABELA 3.3.: ESTAÇÃO ABELARDO LUZ – RIO CHAPECÓ/SC

Estatísticas e Parâmetros dos Modelos	Histórico	SOSN	DIANA
Vazão Média de Longo Termo (m³/s)	68,96	69,71	71,79
Máx.	-	81,87	126,89
Mín.	-	59,75	58,24
Vazão média mensal máxima máxima anual	450,11	501,47	1427,54
Vazão média mensal máxima mínima anual	51,58	239,34	285,61
Vazão média mensal mínima máxima anual	55,21	6,40	1,85
Vazão média mensal mínima mínima anual	4,69	0,11	0,00
Média das Vazões Máximas médias diárias	609,74	564,78	522,54
Média das Vazões Mínimas médias diárias	12,83	7,44	1,19
Média das Vazões Máximas Máximas diárias	-	1164,85	1211,14
Máx.	1630,00	1921,53	2018,73
Mín.	137,00	109,35	90,08
Média das Vazões Mínima Mínimas diárias	-	0,87	0,00
Máx.	32,00	31,65	12,27
Mín.	2,92	0,07	0,00
Desvio Padrão Diário	84,26	84,75	108,30
Máx.	-	101,45	154,65
Mín.	-	72,33	81,15
Variância Diária	7099,98	7208,22	11885,94
Máx.	-	10292,07	23917,22
Mín.	-	5231,77	6585,59
Assimetria Diária	5,53	3,60	3,80
Máx.	-	4,38	5,95
Mín.	-	2,96	2,40
Curtose Diária	55,26	23,64	25,35
Máx.	-	39,64	62,89
Mín.	-	15,80	10,48
Autocorrelação Diária	0,870	0,872	0,967
Máx.	-	0,887	0,980
Mín.	-	0,858	0,953
Desvio Padrão Mensal	52,78	53,11	83,87

Máx.	-	64,28	119,94
Mín.	-	45,11	58,48
Variância Mensal	2786,23	2837,01	7152,98
Máx.	-	4132,53	14385,27
Mín.	-	2034,97	3420,13
Assimetria Mensal	2,37	1,47	2,91
Máx.	-	2,12	6,25
Mín.	-	0,99	1,60
Curtose Mensal	12,27	6,01	16,50
Máx.	-	11,72	62,55
Mín.	-	3,70	5,29
Autocorrelação Mensal	0,397	0,388	0,330
Máx.	-	0,523	0,476
Mín.	-	0,275	0,200
Máximo Déficit Acumulado	23979,48	50450,71	49847,22
Médio	-	19851,55	25592,86
Mín.	-	8816,54	5696,91
Mínima Média Móvel de 5 anos	45,68	-	-
Média das Mínimas Médias Móveis de 5 anos	-	52,29	50,13
Mínima Média Móvel de 5 anos	-	38,42	34,41
Máximo Num. Dias de Recessão	4,26	12,46	5,57
Média Número de Dias de Recessão	48	198	96
B1 – SOSN	-	0,31	-
B2 – SOSN	-	0,028	-
TETA1 – SOSN	-	163,956	-
TETA2 – SOSN	-	25,745	-
NI – SOSN	-	0,048	-
λ – DIANA	-	-	0,935
ρ – DIANA	-	-	0,540
β – DIANA	-	-	-0,143

TABELA 3.4.: ESTAÇÃO PASSO MAROMBAS – RIO MAROMBAS/SC

Estatísticas e Parâmetros dos Modelos	Histórico	SOSN	DIANA
Vazão Média de Longo Termo (m³/s)	98,11	97,00	99,30
Máx.	-	110,67	176,15
Mín.	-	82,94	81,59
Vazão média mensal máxima máxima anual	731,55	715,22	1993,70
Vazão média mensal máxima mínima anual	85,56	325,68	419,10
Vazão média mensal mínima máxima anual	73,47	9,62	3,23
Vazão média mensal mínima mínima anual	15,10	0,33	0,00
Média das Vazões Máximas médias diárias	764,56	733,83	679,19
Média das Vazões Mínimas médias diárias	21,43	13,74	2,12
Média das Vazões Máximas Máximas diárias	-	1438,65	1574,07
Máx.	2350,00	2407,96	2573,09
Mín.	228,00	124,66	117,78
Média das Vazões Mínima Mínimas diárias	-	2,02	0,02
Máx.	41,88	61,61	21,38
Mín.	8,15	0,23	0,00
Desvio Padrão Diário	111,75	110,00	141,09
Máx.	-	127,06	205,15
Mín.	-	93,94	108,48
Variância Diária	12487,54	12143,80	20181,08
Máx.	-	16143,14	42088,26
Mín.	-	8824,48	11769,05
Assimetria Diária	5,73	3,45	3,66
Máx.	-	4,44	5,21
Mín.	-	2,93	2,26
Curtose Diária	67,88	21,83	24,40
Máx.	-	41,07	59,22
Mín.	-	15,90	9,48
Autocorrelação Diária	0,892	0,891	0,970
Máx.	-	0,906	0,982
Mín.	-	0,879	0,958
Desvio Padrão Mensal	73,07	71,78	110,56

Máx.	-	84,68	162,18
Mín.	-	60,68	79,49
Variância Mensal	5339,81	5179,37	12436,98
Máx.	-	7171,25	26301,54
Mín.	-	3681,71	6318,21
Assimetria Mensal	2,76	1,46	2,81
Máx.	-	2,93	4,83
Mín.	-	1,01	1,44
Curtose Mensal	18,71	5,96	15,20
Máx.	-	21,67	40,43
Mín.	-	3,78	4,72
Autocorrelação Mensal	0,442	0,435	0,344
Máx.	-	0,539	0,478
Mín.	-	0,313	0,218
Máximo Déficit Acumulado	24300,07	58460,03	71310,59
Médio	-	31315,873	37441,55
Mín.	-	11344,40	7974,94
Mínima Média Móvel de 5 anos	67,40	-	-
Média das Mínimas Médias Móveis de 5 anos	-	72,20	70,23
Mínima Média Móvel de 5 anos	-	49,92	47,46
Máximo Num. Dias de Recessão	4,79	14,00	5,08
Média Número de Dias de Recessão	39	254	84
B1 – SOSN	-	0,260	-
B2 – SOSN	-	0,021	-
TETA1 – SOSN	-	210,714	-
TETA2 – SOSN	-	31,720	-
NI – SOSN	-	0,042	-
λ – DIANA	-	-	0,935
ρ – DIANA	-	-	0,540
β – DIANA	-	-	-0,141

TABELA 3.5.: ESTAÇÃO RIO DOS PATOS – RIO DOS PATOS/PR

Estatísticas e Parâmetros dos Modelos	Histórico	SOSN	DIANA
Vazão Média de Longo Termo (m³/s)	25,19	25,18	26,51
Máx.	-	31,24	49,29
Mín.	-	21,45	21,62
Vazão média mensal máxima máxima anual	133,72	221,44	495,94
Vazão média mensal máxima mínima anual	27,57	103,30	121,59
Vazão média mensal mínima máxima anual	14,89	1,55	0,47
Vazão média mensal mínima mínima anual	2,52	0,01	0,00
Média das Vazões Máximas médias diárias	233,26	254,49	189,56
Média das Vazões Mínimas médias diárias	3,52	2,65	0,25
Média das Vazões Máximas Máximas diárias	-	542,11	421,87
Máx.	573,00	967,34	716,37
Mín.	68,17	27,52	33,50
Média das Vazões Mínima Mínimas diárias	-	0,28	0,00
Máx.	7,21	13,93	5,36
Mín.	1,11	0,01	0,00
Desvio Padrão Diário	37,19	36,83	39,63
Máx.	-	43,64	62,39
Mín.	-	31,99	32,12
Variância Diária	1383,26	1361,79	1589,76
Máx.	-	1904,23	3892,18
Mín.	-	1023,18	1031,70
Assimetria Diária	4,66	4,32	3,43
Máx.	-	6,08	5,74
Mín.	-	3,54	2,42
Curtose Diária	35,08	31,90	21,04
Máx.	-	74,15	51,50
Mín.	-	19,70	10,44
Autocorrelação Diária	0,906	0,881	0,966
Máx.	-	0,895	0,976
Mín.	-	0,867	0,955
Desvio Padrão Mensal	22,64	22,34	30,22

Máx.	-	26,95	48,06
Mín.	-	18,99	23,35
Variância Mensal	512,54	501,79	928,01
Máx.	-	726,20	2309,45
Mín.	-	360,51	545,09
Assimetria Mensal	2,03	1,76	2,67
Máx.	-	2,76	6,17
Mín.	-	1,27	1,63
Curtose Mensal	8,16	7,20	14,12
Máx.	-	16,88	62,73
Mín.	-	4,32	5,55
Autocorrelação Mensal	0,360	0,358	0,305
Máx.	-	0,509	0,462
Mín.	-	0,218	0,136
Máximo Déficit Acumulado	7816,36	21168,19	18135,24
Médio	-	9470,87	8853,34
Mín.	-	5109,06	2101,37
Mínima Média Móvel de 5 anos	17,45	-	-
Média das Mínimas Médias Móveis de 5 anos	-	17,87	18,69
Mínima Média Móvel de 5 anos	-	12,66	12,46
Máximo Num. Dias de Recessão	5,09	17,51	6,64
Média Número de Dias de Recessão	73	332	104
B1 – SOSN	-	0,250	-
B2 – SOSN	-	0,020	-
TETA1 – SOSN	-	87,711	-
TETA2 – SOSN	-	8,381	-
NI – SOSN	-	0,033	-
λ – DIANA	-	-	0,940
ρ – DIANA	-	-	0,540
β – DIANA	-	-	-0,113

TABELA 3.6.: ESTAÇÃO SANTA CLARA – RIO JORDÃO/PR

Estatísticas e Parâmetros dos Modelos	Histórico	SOSN	DIANA
Vazão Média de Longo Termo (m³/s)	122,43	120,96	126,90
Máx.	-	140,39	202,51
Mín.	-	102,00	103,50
Vazão média mensal máxima máxima anual	848,46	1070,15	2350,12
Vazão média mensal máxima mínima anual	116,21	402,04	511,62
Vazão média mensal mínima máxima anual	86,27	7,44	4,41
Vazão média mensal mínima mínima anual	11,63	0,14	0,00
Média das Vazões Máximas médias diárias	872,67	806,44	754,83
Média das Vazões Mínimas médias diárias	24,56	11,10	4,57
Média das Vazões Máximas Máximas diárias	-	1617,01	1833,02
Máx.	3157,80	2699,49	3163,80
Mín.	251,80	155,92	113,91
Média das Vazões Mínima Mínimas diárias	-	0,95	0,01
Máx.	47,90	54,18	44,73
Mín.	6,22	0,04	0,00
Desvio Padrão Diário	139,00	137,35	163,89
Máx.	-	171,50	219,78
Mín.	-	121,63	123,92
Variância Diária	19321,33	18937,84	27271,42
Máx.	-	29412,15	48301,93
Mín.	-	14793,91	15356,44
Assimetria Diária	5,63	2,93	3,54
Máx.	-	3,85	6,14
Mín.	-	2,34	2,24
Curtose Diária	69,93	16,46	23,87
Máx.	-	32,32	60,34
Mín.	-	10,76	9,43
Autocorrelação Diária	0,922	0,922	0,974
Máx.	-	0,932	0,985
Mín.	-	0,911	0,965
Desvio Padrão Mensal	97,70	96,61	133,26

Máx.	-	126,63	189,44
Mín.	-	84,75	93,66
Variância Mensal	9545,62	9383,24	18088,77
Máx.	-	16035,67	35886,99
Mín.	-	7182,36	8772,56
Assimetria Mensal	2,63	1,54	2,79
Máx.	-	2,79	6,19
Mín.	-	1,04	1,63
Curtose Mensal	14,29	6,38	15,49
Máx.	-	17,39	61,54
Mín.	-	3,62	5,89
Autocorrelação Mensal	0,411	0,401	0,403
Máx.	-	0,538	0,531
Mín.	-	0,286	0,247
Máximo Déficit Acumulado	36596,89	85919,41	79991,23
Médio	-	38999,75	42131,84
Mín.	-	18985,95	10037,02
Mínima Média Móvel de 5 anos	86,11	-	-
Média das Mínimas Médias Móveis de 5 anos	-	90,60	90,13
Mínima Média Móvel de 5 anos	-	61,83	63,95
Máximo Num. Dias de Recessão	4,02	13,20	5,06
Média Número de Dias de Recessão	46	254	96
B1 – SOSN	-	0,200	-
B2 – SOSN	-	0,030	-
TETA1 – SOSN	-	187,934	-
TETA2 – SOSN	-	54,490	-
NI – SOSN	-	0,044	-
λ – DIANA	-	-	0,940
ρ – DIANA	-	-	0,540
β – DIANA	-	-	-0,253

Pelos valores encontrados nos resultados de comparação das estatísticas calculadas para série histórica e para as 100 séries geradas com os modelos SOSN

(WEISS, 1977) e DIANA (KELMAN, 1983), na escala mensal e diária, conclui-se que o modelo SOSN apresenta melhores resultados para a média, desvio padrão, variância, coeficiente de autocorrelação, vazões máximas e mínimas. O modelo DIANA apresentou resultados um pouco melhores para a assimetria e curtose, em ambas as escalas, menos para estação de Rio dos Patos, onde o modelo SOSN obteve resultados melhores.

O máximo déficit acumulado no modelo DIANA foi um pouco melhor nas estações Abelardo Luz e Rio dos Patos, em compensação o modelo de WEISS (1977) apresentou melhores resultados para as estações Passo Marombas e Santa Clara. Para as mínimas médias móveis de 5 anos, os dois modelos apresentaram bons resultados.

Porém, há uma ressalva, presente nos dois modelos, em relação aos valores de vazões mínimas gerados. Tais valores foram muito baixos, chegando a zero para o modelo DIANA e próximo de zero para o SOSN, sendo isto fisicamente impossível de ocorrer na região sul do Brasil, onde somente são encontrados rios perenes.

Por esse problema, estudou-se as recessões das séries históricas e das séries geradas verificou-se que na série histórica o máximo de dias sem chuva foi de setenta e oito dias, para estação de Rio dos Patos, já para as séries geradas os valores foram absurdos, o que seria improvável para região sul do Brasil, onde as chuvas são bem distribuídas durante o ano. O modelo DIANA preserva a média dos dias consecutivos sem chuva, já o modelo SOSN não, porém as vazões mínimas do modelo DIANA chegaram a zero mesmo na escala mensal.

Contudo, pelos dois modelos apresentarem resultados satisfatórios para as estatísticas principais do máximo déficit acumulado e mínimas médias móveis de 5 anos, conclui-se que o modelo SOSN é um pouco melhor que o modelo DIANA, pois consegue preservar melhor as estatísticas média, desvio padrão, variância, coeficiente de autocorrelação, vazões máximas, e, apesar dos resultados ruins para as mínimas, foram melhores que o modelo DIANA, sendo então, o modelo de WEISS (1977), SOSN, o escolhido para geração sintética de vazões diárias.

3.7. ÁREA DE ESTUDO

Este estudo visa abranger a maior parte da região sul do Brasil para regionalização dos parâmetros do modelo estocástico de geração direta de vazões diárias, principalmente os estados do Paraná e Santa Catarina, onde se concentram as grandes bacias hidrográficas 6, 7 e 8 (código ANA), bacia do rio Paraná, rio Uruguai e bacia litorânea, respectivamente. Dentro destas grandes bacias foram selecionadas as seguintes sub-bacias hidrográficas (visualizar figura 3.2 a seguir):

1. A parte do Paraná da sub-bacia Hidrográfica 64;
2. A sub-bacia 65;
3. As sub-bacias 70, 71, 72 e 73;
4. As sub-bacias litorâneas 81, 82, 83 e 84.

Para estas sub-bacias foram selecionadas 62 estações fluviométricas e 62 pluviométricas, a fim de utilizar suas estatísticas e características fisiográficas para regionalização dos parâmetros do modelo estocástico escolhido. Cabe esclarecer que as estações pluviométricas foram escolhidas por sua proximidade às estações fluviométricas de referência, a fim de que seus dados de chuva representem estas estações. A tabela 3.7 descreve os dados principais destas estações.

Outra característica utilizada, em relação à área de estudo, a qual serve para classificar a localização das estações para o estudo de regionalização dos parâmetros estocásticos do modelo escolhido, é a geologia. Percebe-se pela figura 3.3 que há três regiões distintas, a primeira considerada pela vertente litorânea, indo da linha de ápice da serra geral em direção ao litoral, composta por uma mistura de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, e que compreendem a bacia litorânea 8, a segunda, que vai da vertente da serra geral em direção a oeste até o fim das rochas sedimentares (arenitos), compreendendo parte das sub-bacias 64, 65, 70 e 71, e a terceira e última, que compreende a região oeste caracterizada pelo derrame basáltico.

Cabe ressaltar que a base cartográfica para elaboração dos mapas foi retirada do site da ANA HIDROWEB e cartas topográficas do IBGE.

TABELA 3.7. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E PLUVIOMÉTRICAS

N	Código	Estação Fluviométrica/Rio	Latitude (S)		Longitude (O)		Estação	Estação Pluviométrica
			Graus	Min.	Graus	Min.	Pluv. Cod	
1	64242000	Tamanduá/Jaguariaiva	23	58	49	35	2349064	São Jose Da Boa Vista
2	64360000	Tomazina/das Cinzas	23	46	49	57	2349033	Tomazina
3	64382000	Fazenda Casa Branca/Laranjinha	23	24	50	27	2350022	Bancão
4	64390000	Porto Sta. Terezinha/Laranjinha	23	6	50	27	2350001	Porto Santa Terezinha
5	64550000	Vila Silva Jardim/Pirapó	22	50	52	6	2252010	Vila Silva Jardim
6	64620000	Rio dos Patos/ dos Patos	25	12	50	56	2550000	Rio Dos Patos
7	64625000	Tereza Cristina/Ivaí	24	50	51	9	2451003	Tereza Cristina
8	64775000	Balsa do Cantu/Cantu	24	45	52	42	2452000	Balsa Do Cantu
9	64810000	Balsa do Goio Erê/ Goio Erê	23	55	53	8	2353002	Balsa Do Goio-Ere
10	65010000	Fazendinha/Pequeno	25	31	49	8	2549016	Campina Taquaral
11	65035000	Porto Amazonas/Iguaçu	25	33	49	53	2549001	Porto Amazonas (Pcd)
12	65095000	Rio Preto do Sul/Negro	26	13	49	36	2649016	Rio Preto Do Sul
13	65100000	Rio Negro/Negro	26	6	49	48	2649006	Rio Negro (Pcd)
14	65135000	Rio da Várzea dos Lima/da Várzea	25	57	49	23	2549003	Rio Da Varzea Dos Lima
15	65155000	São Bento/da Várzea	25	56	49	47	2549000	Sao Bento
16	65365000	Porto Vitória/Espingarda	26	10	51	13	2651004	Porto Vitoria
17	65370000	Jangada/Jangada	26	22	51	15	2651003	Jangada Do Sul
18	65415000	Fazenda Maracanã/Palmital	26	2	51	9	2651005	Fazenda Maracana
19	65810000	Guarapuava/Jordão	25	27	51	27	2551000	Guarapuava
20	65825000	Santa Clara/Jordão	25	38	51	58	2551004	Santa Clara (Pcd)
21	65925000	Salto Claudelino/Chopim	26	16	52	17	2652015	Salto Claudelino
22	65927000	Porto Palmeirinha/Chopim	26	2	52	40	2652007	Porto Palmeirinha
23	65955000	Balsa do Santana/Santana	25	54	52	51	2552002	Balsa Do Santana
24	70200000	Invernada Velha/Pelotas	28	27	50	18	2850006	Invernada Velha
25	70300000	Fazenda Mineira/Lava Tudo	28	5	50	3	2750007	Painel
26	70500000	Coxilha Rica/Pelotinhas	28	9	50	26	2850004	Coxilha Rica
27	71200000	Vila Canoas/Canoas	27	48	49	47	2749031	Vila Canoas
28	71300000	Rio Bonito/Canoas	27	42	49	50	2749009	Rio Bonito
29	71383000	Ponte Alta do Sul/Canoas	27	28	50	23	2750011	Ponte Alta Do Sul
30	71498000	Passo Marombas/das Marombas	27	20	50	45	2750009	Passo Marombas

31	72630000	Passo Santa Tereza/Apuaê	27	42	51	53	2751006	Paim Filho
32	72680000	Passo Colombeli/Apuaê	27	33	51	51	2751008	Usina Forquilha
33	72870000	Barra do Rio Pardo/Leão	27	19	51	31	2751012	Capinzal
34	73180000	Engenho Velho/Jacutinga	27	14	52	13	2752005	Concordia
35	73300000	Bonito/Irani	26	57	52	11	2652001	Bonito
36	73330000	Passo Alto Irani/Irani	26	58	52	22	2652006	Xanxere 83858
37	73600000	Abelardo Luz/Chapecó	26	39	51	54	2652000	Abelardo Luz
38	73705000	Chapecozinho/Chapecozinho	26	45	52	27	2652045	Prainha Do Ouro Verde
39	73820000	Passo Pio X/Burro Branco	26	34	52	59	2652021	Jardinópolis
40	81125000	Turvo/Turvo	24	45	49	20	2449007	Turvo
41	81135000	B. do Cerro Azul/Rib. Do Iguapé	24	47	49	16	2449006	Balsa Do Cerro Azul
42	81300000	Praia Grande/Capivari	25	10	48	53	2548040	Reservatorio Capivari
43	82320000	Corupá/Novo	26	25	49	18	2649064	Rio Novo
44	82350000	Jaraguá do Sul/Itapocu	26	29	49	5	2649037	Jaragua Do Sul
45	82370000	Jaraguá/Jaraguá	26	30	49	5	2649037	Jaragua Do Sul
46	83050000	Taió/Itajaí do Oeste	27	7	50	0	2749003	Taio (Pcd)
47	83060000	Pouso Redondo/das Pombas	27	15	49	56	2749006	Pouso Redondo
48	83250000	Ituporanga/Itajaí do Sul	27	24	49	61	2749002	Ituporanga (Pcd)
49	83660000	Benedito Novo/Benedito	26	47	49	22	2649003	Benedito Novo
50	83675000	Arrozeira/dos Cedros	26	44	49	16	2649030	Usina Cedros
51	83680000	Timbó/Benedito	26	50	49	16	2649026	Timbo
52	83720000	Rio do Testo/do Testo	26	44	49	10	2649002	Pomerode
53	83820000	Garcia/Garcia	26	58	49	4	2649009	Garcia
54	83900000	Brusque/Itajaí Mirim	27	6	48	55	2748014	Brusque 83896
55	84071000	Major/Tijucas	27	24	48	56	2748001	Major Gercino
56	84095000	Nova Trento/Alto Braço	27	17	48	55	2748002	Nova Trento
57	84100000	Poço Fundo/Cubatão	27	42	48	48	2748005	Poco Fundo
58	84520000	Divisa Anitápolis/Braço do Norte	27	59	49	7	2749012	Divisa De Anitapolis
59	84560002	São Ludgero II/Braço do Norte	28	19	49	9	2849002	Sao Ludgero
60	84580000	Rio do Pouso/Tubarão	28	25	49	6	2849000	Rio Do Pouso
61	84600000	Armazém Capivari/Capivari	28	15	49	0	2848000	Armazem Capivari
62	84950000	Taquaraçu/Itoupava	28	57	49	36	2849004	Taquarucu

FIGURA 3.2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO (MAPA NO TAMANHO A3 EM ANEXO)

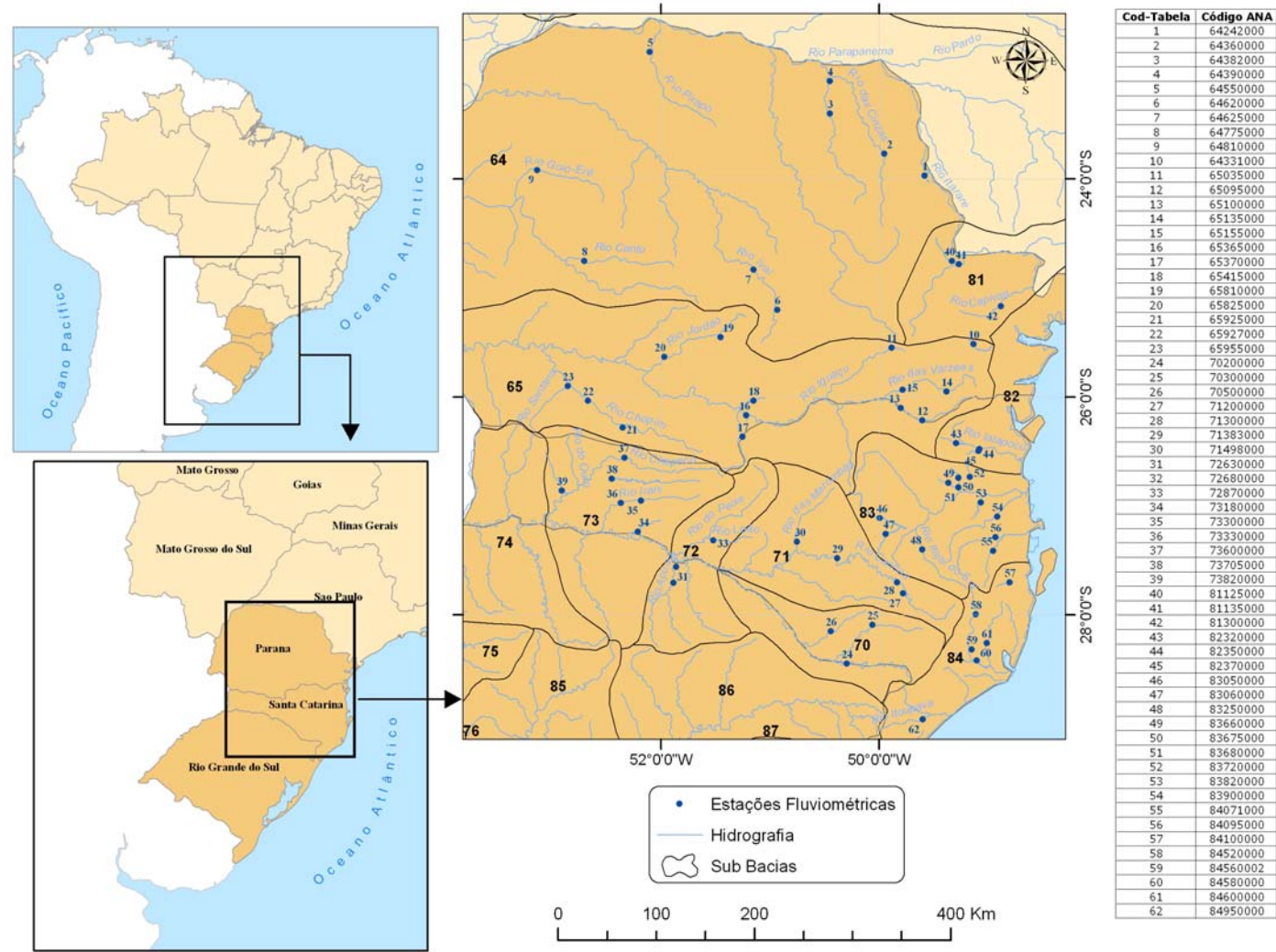
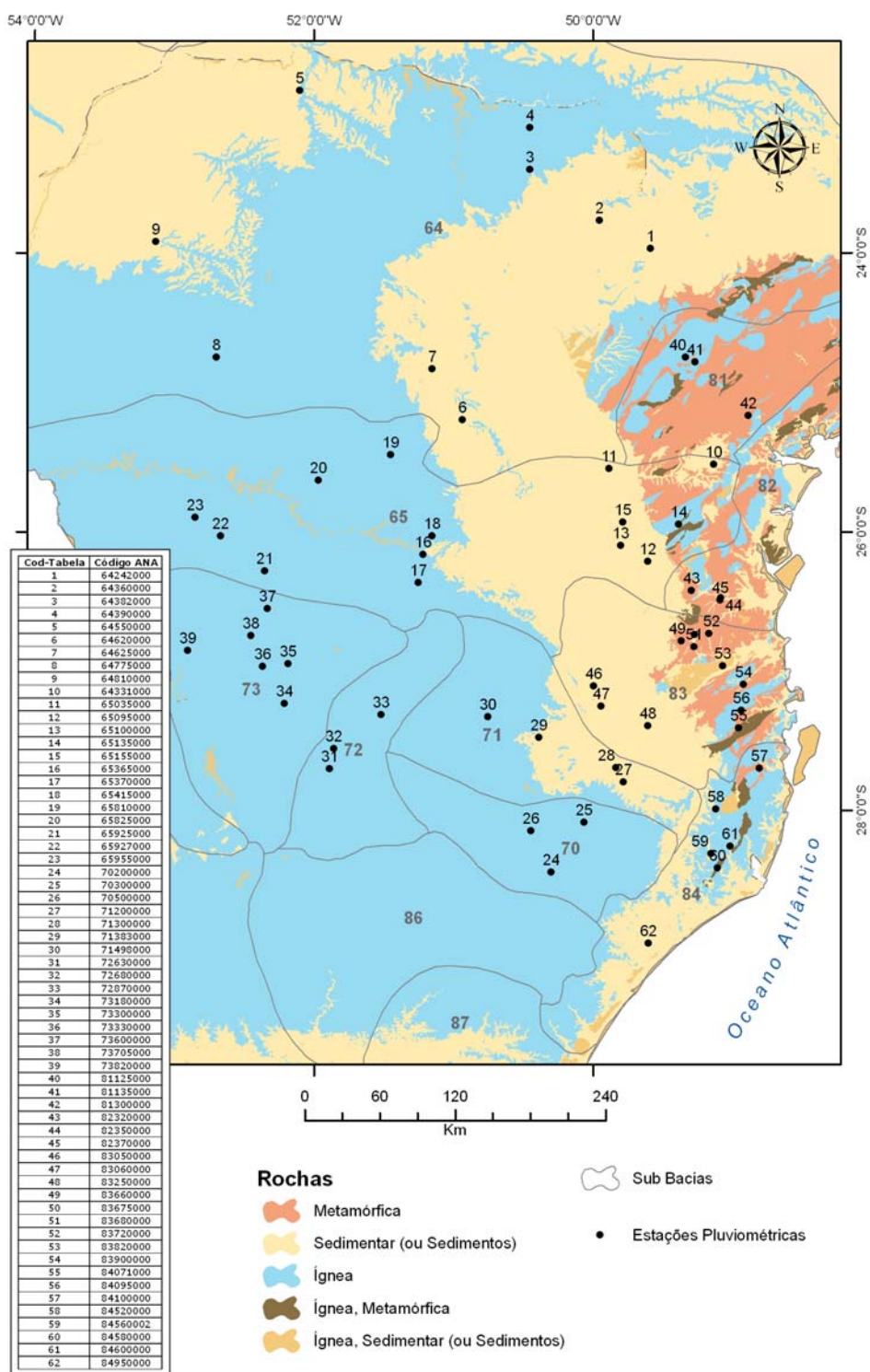


FIGURA 3.3. MAPA DE GEOLOGIA (MAPA NO TAMANHO A3 EM ANEXO)



3.8. REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS

O estudo de regionalização é um fator fundamental para esta dissertação. A grande questão que levou o início desta pesquisa foi de se obter uma forma eficaz de gerar vazões diárias em um ponto qualquer na área de estudo, e para isso objetivou-se utilizar um modelo estocástico de geração direta de vazões diárias e regionalizar seus parâmetros.

O processo, como um todo, de regionalização dos parâmetros do modelo estocástico escolhido segue as seguintes etapas:

1. Estabelecer a área de estudo;
2. Selecionar estações fluviométricas até 5000 km², pois o estudo é para PCHs;
3. Obter os dados de entrada do modelo estocástico de geração de vazões diárias escolhido para cada estação;
4. Calcular os parâmetros do modelo;
5. Definir variáveis independentes para regressão múltipla pelo método OLS (*Ordinary Least Square* – mínimos quadrados ordinário);
6. Realizar testes estatísticos de significância da regressão;
7. Verificar a possibilidade de se realizar a regionalização por interpolação espacial (*kriging*, e inverso ponderado da distância) para os parâmetros que não se conseguir bons resultados pelo método OLS de regressão múltipla.

Cabe esclarecer que para todo processo de regressão linear múltipla OLS foi desenvolvido um programa em linguagem FORTRAN, chamado REGMULT, e tal encontra-se em anexo.

3.8.1. Regressão Múltipla OLS – Ordinary Least Square

A forma geral de um modelo de regressão múltipla é dado por, GREENE (2002):

$$y_i = \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad (3.26)$$

Onde:

y_i – é a variável dependente

β – são os parâmetros do modelo, também chamados de coeficientes de regressão

x_i – são as variáveis independentes

ε_i – são os erros

Para o caso do método OLS ainda se assume que os erros sejam independentes com média nula e variância s^2 , e que as variáveis independentes sejam não estocásticas. Para permitir a inferência estatística assume-se que os erros sejam normalmente distribuídos.

Na equação anterior podemos arbitrar β_1 como um parâmetro constante e todo x_{i1} como um valor unitário, sendo neste caso considerado como a interseção do plano e chamado de β_0 . Para o modelo apresentado o valor esperado do ε é nulo, ou seja, espera-se que não haja diferença entre os valores observados e estimados.

Em geral, a variável dependente, y , pode estar relacionada a k variáveis independentes ou regressores. O modelo é chamado de modelo de regressão linear múltipla com k regressores.

Modelos de regressão linear múltipla são frequentemente usados como aproximação de funções. Isto é, na verdade a relação funcional entre a variável dependente e as variáveis independentes é desconhecida, porém, em certas faixas das variáveis independentes, o modelo de regressão linear é uma aproximação adequada.

A estimação dos parâmetros nesta dissertação é utilizada através do método dos mínimos quadrados simples (OLS), o qual visa minimizar a soma dos quadrados dos resíduos, obtendo-se para o estimador do vetor de coeficientes (GREENE, 2002):

$$b=(X'X)^{-1}X'y \quad (3.27)$$

Onde:

b – é o vetor dos estimadores dos parâmetros beta

X – é a matriz dos valores das variáveis independentes

X' – é a matriz transposta dos valores das variáveis independentes

y – é vetor dos valores da variável dependente

Cuja matriz de covariância é dada por:

$$S=\sigma^2(X'X)^{-1} \quad (3.28)$$

As diferenças entre os valores observados y e os estimados pela equação de regressão são chamados de resíduos (são diferentes dos erros da eq. 3.26 por usar estimadores dos coeficientes betas e não seus verdadeiros valores), cujo vetor é denotado por e .

Vale mencionar que o estimador OLS, dado pela equação (3.27), sob as hipóteses básicas acima, como demonstrado pelo teorema de Gauss-Markov, é BLUE (*best linear unbiased estimator*), isto é, estimador não tendencioso de mínima variância. Este fato independe da normalidade dos resíduos, apenas a homoscedasticidade (variância constante) dos erros é necessária.

Para as regressões do estudo é utilizado o modelo de regressão linear múltipla OLS através dos logaritmos naturais (ln) das variáveis independentes e da variável dependente, logo a equação base da regressão passa a ser:

$$\ln(y_i) = \beta_1 \ln(x_{i1}) + \beta_2 \ln(x_{i2}) + \dots + \beta_k \ln(x_{ik}) + \varepsilon_i \quad (3.29)$$

Para maiores detalhes sobre a teoria da regressão múltipla refere-se o leitor à GREENE (2002).

3.8.2. Variáveis Independentes

Para o processo de regionalização do modelo estocástico de geração de vazões diárias SOSN escolhido foi estabelecido usar variáveis independentes, que pudessem ter alguma significância em relação aos parâmetros do modelo SOSN. Relembrando, os parâmetros do modelo são: b_1 , b_2 , referentes às recessões superficial e subterrânea, respectivamente, θ_1 e θ_2 , vazões a serem acrescentadas em relação ao escoamento superficial e subterrâneo, e por fim, v , o qual condiz com a ocorrência ou não de chuva.

As variáveis independentes escolhidas são:

1. Área de drenagem da estação
2. Declividade média da nascente até a estação
3. Chuva média anual na estação pluviométrica mais próxima
4. Média de dias consecutivos sem chuva
5. Parâmetro de localização da estação devido a sua característica geológica (explicação no item 3.7 - Área de Estudo)

3.8.3. Testes de Significância das Regressões Lineares Múltiplas

Os testes de significância servem para verificar se uma regressão representa bem ou não a variável dependente através de suas variáveis independentes, ou seja, realizam-se testes em relação aos erros entre a variável dependente observada e a estimada pela regressão proposta.

Cabem algumas considerações estatísticas sobre o modelo linear de regressão múltipla OLS, o qual pressupõe que a variável dependente é aleatória, que a esperança matemática dos erros seja nula, ou seja, a média dos resíduos da regressão deve ser nula, ainda que a variância V_i é constante e igual a σ^2 (condição de homocedasticidade dos resíduos), que os erros são independentes entre si, sendo os mesmos distribuídos normalmente.

Para este estudo serão realizados os seguintes testes, todos retirados do livro *Econometric Analysis* de GREENE (2002):

1. Coeficiente de determinação R^2 e coeficiente de correlação linear R : o valor de R^2 define a proporção da variância de y explicada pela regressão. Em geral um valor de R^2 superior a 0,75 indica um ajuste razoável, acima de 0,90, um ajuste bom, e acima de 0,95, o ajuste pode ser considerado ótimo.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - y_{est})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.30)$$

$$R = \sqrt{R^2} \quad (3.31)$$

Onde:

y_i – é a variável dependente

y_{est} – é a variável dependente estimada pela regressão

\bar{y} - é a média da variável dependente

2. Teste F: o teste F verifica a hipótese de que todos coeficientes, exceto o termo constante, são nulos. Porém, este teste deve ser analisado junto com o teste t, pois uma regressão pode ser rejeitado pelo teste F, mas algumas variáveis podem ser representativas, o que se verifica com o teste t.

$$F(k-1, n-k) = \frac{\frac{R^2}{k-1}}{\frac{1-R^2}{n-k}} \quad (3.32)$$

Onde:

k – é o número de variáveis independentes

n – é o números de amostras

F – é uma variável com distribuição F

A hipótese nula para o teste F, onde todos coeficientes em conjunto seriam nulos, será rejeitada ao nível de significância α , se:

$$F(\alpha, k-1, n-k) < \frac{\frac{R^2}{k-1}}{\frac{1-R^2}{n-k}} \quad (3.33)$$

3. Teste t: Este teste serve para verificar a significância de cada variável independente em relação à regressão. O teste t utiliza a distribuição t de student para verificar a hipótese nula de β_k poder ser assumido igual a um valor prefixado. Em geral se adota β_k igual a zero, ou seja, o valor da variável X_k não influi no valor de y .

$$t_k = \frac{b_k - \beta_k}{\sqrt{s^2 S^{kk}}} \quad (3.34)$$

Onde:

t_k – é uma variável com distribuição t de student

b_k – é o coeficiente estimado

β_k – é o valor assumido do coeficiente β_k (geralmente igual a zero)

s^2 – é o estimador da variância σ^2 dado por $(e'e/(n-k))$

S^{kk} – é o k-ésimo elemento da diagonal principal da matriz $(X'X)^{-1}$

A hipótese nula para o teste t, onde a variável independente k não é significativa, será rejeitada ao nível de significância α , se:

$$t_{\alpha/2}(n-k) < \frac{b_k}{\sqrt{s^2 S^{kk}}} \quad (3.35)$$

4. Normalidade dos resíduos: Para a aplicação do teste chi-quadrado (SPIEGEL, 1971) se ordenam os resíduos dividindo-os em m classes (classes com no mínimo 5 elementos), contando o número de valores de cada classe e, também, contando o número de elementos de cada classe, dado pela distribuição normal $N(0, s^2)$. A hipótese

nula assumindo a normalidade dos resíduos será rejeitada ao nível de significância α , se:

$$\chi^2_{\alpha}(m-2) > \sum \frac{(no - nt)^2}{nt} \quad (3.36)$$

Onde:

α – é o nível de significância

m – é o número de classes

no – número de observações de ocorrência em cada classe

nt – número teórico de ocorrência em cada classe

É importante lembrar que os estimadores OLS dos coeficientes continuam sendo BLUE, mesmo se os resíduos não forem normais, apenas os resultados dos testes de significância (t de student) não se aplicam.

5. Teste de Heteroscedasticidade: Quando os resíduos se distribuem aleatoriamente em torno da reta de regressão e de forma constante, ou seja, a variância dos resíduos é igual a uma constante para todos os valores de X, temos que o pressuposto da homoscedasticidade é satisfeito.

A heteroscedasticidade ocorre quando variância V_i não é constante, ou seja, igual a σ^2 . A presença de heteroscedasticidade em uma regressão provoca problemas para as inferências estatísticas e a estimativa dos parâmetros nos métodos dos mínimos quadrados. Neste caso, os estimadores OLS deixam de ser BLUE.

A maioria dos testes para heteroscedasticidade são direcionados aos resíduos para detectar este problema. Pode-se previamente verificar a presença de

heteroscedasticidade pelo método gráfico verificando se há uma homogeneidade ou um crescimento da variância dos resíduos à medida que a variável escolhida independente cresce.

Existem vários testes para verificação deste problema, para este trabalho optou-se por utilizar o teste de Goldfeld-Quandt (1965) por ser um teste eficiente e relativamente simples. Neste teste assume-se que as observações podem ser divididas em dois grupos, tais que abaixo da hipótese de homocedasticidade as variâncias sejam as mesmas. Sendo $\sigma^2_i = \sigma^2(x_i)$ para uma variável qualquer, pode-se ordenar as observações tal que se consiga separar estas em dois grupos com variância altas e baixas. A aplicação do teste é realizada dividindo os quadrados dos resíduos dos dois grupos:

$$F = \frac{e_1' e_1}{e_2' e_2} \quad (3.37)$$

Onde:

e_1 – é o vetor dos resíduos de 1

e_2 – é o vetor dos resíduos de 2

e_1' – transposta do vetor dos resíduos de 1

e_2' – transposta do vetor dos resíduos de 2

Assume-se que a variância é maior no primeiro termo, caso contrário deve-se inverter os fatores. A hipótese nula, onde a regressão possui homoscedasticidade, será aceita ao nível de significância α , se:

$$F_{\alpha}(n_1 - k, n_2 - k) > \frac{e_1' e_1}{e_2' e_2} \quad (3.38)$$

Onde:

k – é o número de variáveis independentes

n – é o número de amostras

Para que o teste seja mais eficaz, os autores sugerem que os termos do meio dos resíduos sejam omitidos.

3.8.4. Interpolação Espacial

Pode-se definir a interpolação espacial como um procedimento matemático de ajuste de uma função à pontos não amostrados, baseando-se em valores obtidos em pontos amostrados.

No presente estudo são utilizados dois métodos de interpolação, krigagem (*kriging*) e a ponderação pelo inverso da distância (IDW – *inverse of distance weighted*). Estes métodos foram utilizados pelo algoritmo interno do programa ArcGIS.

3.8.4.1. IDW

O modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um indivíduo do outro, maior será a correlação desse indivíduo com seus vizinhos. Dessa forma atribui maior peso para os indivíduos mais próximos do que para os mais distantes do ponto a ser interpolado. O modelo consiste em se multiplicar os valores observados pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto da estimativa. Este modelo estatístico considera a existência do efeito da distância e de outro fator qualquer, que é representado pela letra p , isto é, a distância é elevada a um

expoente p de forma que se podem obter diferentes valores interpolados para uma mesma distância.

$$\hat{Z}_o = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{io}^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{io}^p}} \quad (3.39)$$

Onde:

\hat{Z}_o – valor interpolado no local o

d_{io} – distância entre os locais i e o

n – número de indivíduos

p – expoente atribuído

Z_i – valor observado no local i

Podem-se atribuir diferentes valores à potência p , sendo que quanto maior for o valor dessa potência maior será a influência do vizinho mais próximo na estimativa dos valores. O mais tradicional é usar $p=2$, resultando assim a interpolação pelo inverso do quadrado da distância.

3.8.4.2. Krigagem (Kriging)

A geoestatística foi desenvolvida a partir de estudos no início da década de 60, na França onde, segundo YAMAMOTO (2004), Georges Matheron formalizou, a partir de estudos práticos desenvolvidos por Daniel G. Krige, a teoria das variáveis regionalizadas. Essa teoria diz que uma medida pode ser vista como uma realização de uma função aleatória (processo estocástico).

A geoestatística envolve, basicamente, a aplicação de métodos matemáticos e estatísticos e pode ser utilizada em diversas áreas como: geologia, pesquisa mineral, geotecnia, meio ambiente, estimativa espacial e temporal, simulação, bem como, na análise de riscos e quantificação de reservas.

A estatística clássica assume que existe estacionaridade entre as amostras, ou seja, que as amostras são aleatórias e independentes de uma distribuição de probabilidade simples. Já a geoestatística assume que “a distribuição das diferenças de variáveis entre dois pontos amostrados é a mesma para todo o depósito, e que isto depende somente da distância entre eles e da orientação dos pontos” (YAMAMOTO, 2004). Ou seja, as diferenças existentes entre as diversas variáveis devem ser consistentes, porém não constantes. A esse conceito chama-se *quase estacionaridade*.

De maneira resumida, os passos de um estudo de geoestatística consistem em:

- **análise exploratória dos dados:** coleta das amostras a serem analisadas, cálculo de estatísticas básicas e análises de tendências;
- **análise estrutural dos dados:** análise e inferência de valores correlacionados de uma variável no espaço ou no tempo, chamada de modelagem do variograma¹;
- **realização de inferências:** aplicação das técnicas de *Krigagem* (nome genérico dado ao processo de estimativa baseado na teoria das variáveis regionalizadas) simples e ordinária. Essa etapa é comumente chamada de Krigagem ou simulação;

Modelagem do Variograma

A natureza estrutural de um conjunto de dados é definida a partir da comparação de valores tomados simultaneamente em dois pontos, segundo uma determinada

¹ Ferramenta que permite descrever quantitativamente a variação espacial de um fenômeno em função da distância numa direção e desta em relação a outras (YAMAMOTO, 2004).

direção. A função variograma é uma medida da variância das diferenças nos valores da variável regionalizada entre pontos separados por uma distância h . Pontos mais próximos, por estarem correlacionados terão essa variância pequena, aumentando à medida que os pontos se distanciam.

A função variograma $2\gamma(h)$ é definida como sendo a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados por uma distância h , conforme a seguinte equação:

$$2\gamma(h) = E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} \quad (3.40)$$

onde:

$2\gamma(h)$ é a função variograma;

E é a indicação de esperança estatística;

$Z(x+h)$ é o valor da variável regionalizada no ponto $(x+h)$;

$Z(x)$ é o valor da variável regionalizada no ponto x ;

Partes e Propriedades de um Variograma

Segundo YAMAMOTO (2004) as principais partes e propriedades de um variograma são:

- **amplitude:** é a distância a partir da qual as amostras passam a ser independentes, ou seja, reflete o grau de homogeneização entre as amostras;
- **campo estruturado:** amostras correlacionadas;
- **campo aleatório:** amostras independentes;
- **patamar:** é o valor no qual o variograma estabiliza-se (amostras tornam-se independentes);

- **variância aleatória:** é o valor da função variograma na origem (teoricamente zero, porém, há erros de amostragem que interferem);
- **variância espacial:** é dada pela diferença entre a variância a priori e variância aleatória;

Muitos autores chamam de função variograma a função representada por $\gamma(h)$, mas na verdade essa é a função semivariograma, que nada mais é do que a função variograma dividida à metade.

A interpretação do variograma permite obter parâmetros que descrevem o comportamento espacial das variáveis regionalizadas. Uma feição resultante da análise dos parâmetros do variograma experimental é a zona de influência que é um fenômeno de transição caracterizado exclusivamente por modelos de variograma que possuem patamar e amplitude definidos.

Anisotropia

Os variogramas determinados ao longo de diferentes direções do espaço podem mostrar variações diferentes. Esta variação é denominada anisotropia e pode apresentar três formas: geométrica, quando a amplitude varia conforme as direções, mas sob um patamar constante; zonal, quando a amplitude permanece constante e o patamar varia de acordo com a direção; e mista, onde variam tanto a amplitude quanto o patamar, ou seja, quando as várias direções resultam em diferentes variogramas.

Domínio do Variograma

O campo no qual o variograma é válido é chamado campo geométrico, e seus domínios de definição podem ser três:

- campo geométrico coincidente com a área de interesse. Um variograma intrínseco pode ser obtido;

- campo geométrico engloba apenas parte da área de interesse. O variograma é dependente da posição e tamanho do campo, além de apresentar variabilidade maior que aquela verificada no variograma intrínseco;
- campo geométrico muito maior que a área de interesse. O variograma tende a zero quando o tamanho do campo aumenta, mas, é possível definir um variograma transitivo que é independente do campo que engloba o depósito;

Tipos de Modelos de Variogramas

De acordo com YAMAMOTO (2004), o variograma é utilizado para calcular os valores de semivariância para uma distância. Esses valores são utilizados posteriormente para a organização do sistema de equações de krigagem.

Os pontos distribuídos na região de interesse se apresentam de forma dispersa e necessitam, assim, de interpolações para distâncias grandes e número de pares de amostras pequeno. Por isso, o ajuste de uma função matemática que descreve continuamente a variabilidade ou correlação espacial entre os dados é necessário.

O ajuste matemático é feito em função dos parâmetros do variograma (citados anteriormente). O variograma teórico é comparado ao variograma experimental, se o ajuste não for satisfatório, novos parâmetros são fornecidos e assim, sucessivamente, até que o ajuste seja considerado satisfatório.

KITANIDIS (1993) divide os tipos de variograma em dois grupos: modelos estacionários e modelos intrínsecos não estacionários, e cita como principais exemplos de cada grupo:

Modelos Estacionários

- **Gaussiano:** único que apresenta comportamento parabólico na origem o que significa que a variável regionalizada é suficientemente suave para ser diferenciável;

- **Exponencial:** modelo versátil e de simples análise. Muito aplicado em estudos hidrológicos;
- **Esférico:** modelo ideal para quando a variável regionalizada não é suficientemente suave, ou seja, não é diferenciável;
- **Efeito furo:** a função covariância não decai ao mesmo passo que a distância. Ideal para pseudo-periodicidades²;

Modelos Intrínsecos Não Estacionários

- **linear:** o semivariograma apresenta relação direta e linear com a distância entre os pontos que representam a variável regionalizada;
- **logarítmico:** usado exclusivamente para integrais de volumes finitos. Não pode ser usado para os pontos da variável regionalizada;

Métodos de Estimativa

O modelo de krigagem ordinária é dado por:

$$Z(S) = \mu + \varepsilon(S) \quad (3.41)$$

onde:

$S = (X, Y)$ – é a localização segundo o plano;

$Z(S)$ – é o valor agregado ao ponto;

² O conceito de pseudo-periodicidade assegura que no extremo, quando a variância é periódica, a variável regionalizada é exatamente periódica.(KITANIDIS, 1993).

O modelo é baseado em uma média μ constante para os dados e $\varepsilon(S)$ são erros aleatórios com dependência espacial. Assumindo que o processo aleatório $\varepsilon(S)$ é intrinsecamente estacionário, a forma da estimativa como um somatório ponderado obtido como uma combinação linear dos dados disponíveis é dada por:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (3.42)$$

onde:

$\hat{Z}(S_0)$ - valor desconhecido a ser estimado;

$\lambda_i (i = 1, \dots, N)$ - ponderadores obtidos pela resolução do *sistema linear de equações*³;

$Z(S_i) (i = 1, \dots, N)$ formam o conjunto de dados disponíveis;

Na krigagem ordinária, os pesos λ_i dependem do semivariograma, da distância até o ponto de estimativa e das relações espaciais entre os valores obtidos ao redor do ponto de estimativa.

Ao estimar valores para muitos pontos, deve-se esperar alguns valores mais altos e outros mais baixos, porém a diferença média entre as estimativas deve ser igual a zero. Para assegurar este fato, deve-se igualar o somatório dos pesos λ_i ao valor unitário. Isso significa minimizar a esperança estatística da seguinte fórmula, da qual as equações de krigagem são obtidas. Minimizando a esperança, a estimativa de krigagem está, na média, o mais próximo possível do valor desconhecido.

³ Esse sistema é denominado sistema de equações de krigagem, conforme o desenvolvimento matemático, e fornece os ponderadores para as estimativas. (YAMAMOTO, 2004).

$$\left(Z(S_0) - \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \right)^2 \quad (3.43)$$

A solução para a minimização fornece as equações de krigagem a partir das relações:

$$\Gamma^* \lambda = g \quad (3.44.a)$$

ou

$$\begin{pmatrix} \gamma_{II} & \dots & \gamma_{IN} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{NI} & \dots & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \lambda_I \\ \vdots \\ \lambda_N \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{I0} \\ \vdots \\ \gamma_{N0} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.44.b)$$

Cálculo do Semivariograma Empírico

Para computar os dados na matriz Γ , é necessário examinar a estrutura dos dados através de um semivariograma empírico. No semivariograma, metade da diferença quadrada entre os pares de pontos (eixo y) é plotada em relação às distâncias que os separam (eixo x).

Ajuste do Modelo

Deve-se locar a semivariância média em função da distância média. O gráfico resultante é chamado de semivariograma empírico. Os valores do semivariograma empírico não podem ser usados diretamente na matriz Γ porque isto pode causar a ocorrência de valores negativos para os erros de estimativa. É necessário, portanto, ajustar um modelo para determinar os valores para as diversas distâncias.

A fórmula para determinar a semivariância a qualquer distância neste estudo é dada pela seguinte expressão: Semivariância = coeficiente angular * distância.

A matriz Γ já foi montada, porém ainda é necessário determinar os pesos pela relação da krigagem ordinária:

$$\lambda = \Gamma^{-1} * g \quad (3.45)$$

A partir dessa expressão, se vê necessário inverter a matriz Γ .

Resta apenas o vetor g ser criado para a conclusão do método de estimativa. O vetor g mede as distâncias entre o ponto o qual se quer estimar e os pontos conhecidos.

Estimativa

Finalmente, para estimar um valor, multiplica-se o peso de cada medida pelo seu respectivo valor.

Um dos pontos positivos em métodos geoestatísticos, segundo JOHNSTON *et. al* (2001), é o fato de permitirem o cálculo da incerteza dos resultados apresentados. É o que proporciona a variância de krigagem. Basta multiplicar as entradas pelo vetor g vezes cada entrada pelo vetor λ e somá-las para obter a variância da estimativa. A raiz quadrada da variância é chamada de erro padrão de estimativas.

4. RESULTADOS

Os resultados da pesquisa estão apresentados nos seguintes subitens:

1. Estatísticas para Estimação e Parâmetros de Entrada do Modelo SOSN para as Estações da Área de Estudo
2. Variáveis Independentes
3. Regressão Múltipla e Inferência Estatística
4. Interpolação Espacial

Neste capítulo, “Resultados”, é apresentado todo o processo de regionalização dos parâmetros do modelo escolhido SOSN (WEISS, 1977).

4.1. ESTATÍSTICAS PARA ESTIMAÇÃO E PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO SOSN PARA AS ESTAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

Como relatado nos capítulos 2 e 3, as estatísticas das vazões da série histórica de cada estação, que servem de base para estimação dos parâmetros de entrada do modelo SOSN (WEISS, 1977) são: média de longo termo, desvio padrão diário e mensal, variância diária e mensal e coeficiente de autocorrelação diário e mensal.

Na tabela a seguir encontram-se os resultados das estatísticas supracitadas e os parâmetros calculados para as 62 estações utilizadas na área de estudo.

TABELA 4.1. – ESTATÍSTICAS DE ESTIMAÇÃO

N	Código	Estação Fluviométrica/Rio	Período c/ dados	Período s/ falhas	Anos s/ falhas	Média	DP Diário	Var Diário	p(1) Diário	DP Mensal	Var Mensal	p(1) Mensal
1	64242000	Tamanduá/Jaguariaiva	76 a 04	77 a 96	20	29,46	28,75	826,50	0,833	19,41	376,91	0,500
2	64360000	Tomazina/das Cinzas	26 a 05	69 a 02	34	34,49	42,28	1787,39	0,840	26,51	703,00	0,432
3	64382000	Fazenda Casa Branca/Laranjinha	76 a 05	77 a 95	19	37,59	71,58	5123,05	0,792	41,19	1696,71	0,348
4	64390000	Porto Sta. Terezinha/Laranjinha	31 a 05	34 a 67	34	29,05	51,93	2696,62	0,881	33,49	1121,72	0,360
5	64550000	Vila Silva Jardim/Pirapó	67 a 05	84 a 96	13	59,79	35,90	1288,50	0,803	24,05	578,54	0,436
6	64620000	Rio dos Patos/ dos Patos	30 a 05	73 a 02	30	25,19	37,19	1383,26	0,906	22,64	512,54	0,360
7	64625000	Tereza Cristina/Ivaí	56 a 05	79 a 93	15	82,37	140,69	19794,60	0,836	81,86	6700,38	0,380
8	64775000	Balsa do Cantu/Cantu	67 a 05	68 a 00	33	67,00	102,49	10504,45	0,767	57,52	3309,06	0,408
9	64810000	Balsa do Goio Erê/ Goio Erê	63 a 05	67 a 91	25	43,27	25,46	648,06	0,933	20,52	421,04	0,693
10	65010000	Fazendinha/Pequeno	55 a 05	83 a 05	23	3,04	2,31	5,31	0,924	1,61	2,59	0,525
11	65035000	Porto Amazonas/Iguaçu	35 a 05	50 a 05	56	70,86	65,50	4289,77	0,964	50,44	2543,66	0,503
12	65095000	Rio Preto do Sul/Negro	51 a 05	52 a 82	31	50,74	43,23	1868,88	0,948	30,55	933,23	0,531
13	65100000	Rio Negro/Negro	33 a 05	33 a 78	46	60,91	55,61	3092,31	0,972	42,57	1812,45	0,492
14	65135000	Rio da Várzea dos Lima/da Várzea	39 a 05	40 a 82	43	10,62	8,68	75,25	0,944	6,25	39,03	0,506
15	65155000	São Bento/da Várzea	31 a 05	41 a 90	50	33,39	26,88	722,33	0,982	21,91	480,11	0,556
16	65365000	Porto Vitória/Espingarda	46 a 05	46 a 84	39	4,31	4,87	23,68	0,802	3,19	10,18	0,503
17	65370000	Jangada/Jangada	46 a 05	53 a 00	48	26,44	32,95	1085,49	0,831	20,59	423,80	0,450
18	65415000	Fazenda Maracanã/Palmital	46 a 05	46 a 92	47	8,56	10,87	118,25	0,873	6,65	44,27	0,422
19	65810000	Guarapuava/Jordão	37 a 67	53 a 66	14	14,89	17,20	295,82	0,806	10,57	111,81	0,447
20	65825000	Santa Clara/Jordão	70 a 02	73 a 02	30	122,43	139,00	19321,33	0,922	97,70	9545,62	0,411
21	65925000	Salto Claudelino/Chopim	65 a 05	84 a 00	17	60,03	78,57	6173,02	0,872	48,95	2396,16	0,310
22	65927000	Porto Palmeirinha/Chopim	55 a 05	56 a 75	20	91,80	101,56	10314,32	0,894	69,17	4784,42	0,572
23	65955000	Balsa do Santana/Santana	56 a 02	63 a 01	39	53,26	76,45	5845,00	0,880	47,58	2263,97	0,347
24	70200000	Invernada Velha/Pelotas	64 a 05	66 a 93	28	76,69	140,05	20462,21	0,632	65,60	4303,75	0,302
25	70300000	Fazenda Mineira/Lava Tudo	42 a 06	68 a 87	20	28,82	55,67	3099,25	0,530	24,72	611,09	0,427
26	70500000	Coxilha Rica/Pelotinhas	44 a 06	68 a 80	13	16,12	31,73	1006,86	0,596	13,44	180,51	0,298
27	71200000	Vila Canoas/Canoas	57 a 06	77 a 90	14	34,83	36,64	1342,39	0,918	24,92	621,18	0,427
28	71300000	Rio Bonito/Canoas	42 a 06	43 a 90	48	51,68	51,51	2653,52	0,969	38,58	1488,63	0,483
29	71383000	Ponte Alta do Sul/Canoas	56 a 06	57 a 82	26	109,65	109,06	11894,58	0,978	84,97	7219,04	0,495
30	71498000	Passo Marombas/das Marombas	40 a 06	73 a 02	30	98,11	111,75	12487,54	0,892	73,07	5339,81	0,442
31	72630000	Passo Santa Tereza/Apuãê	57 a 05	71 a 93	23	71,52	98,40	9683,25	0,806	57,47	3302,40	0,451
32	72680000	Passo Colombeli/Apuãê	39 a 06	40 a 91	52	92,93	155,20	24087,84	0,807	86,18	7426,65	0,489

33	72870000	Barra do Rio Pardo/Leão	77 a 05	79 a 05	27	11,71	23,71	561,99	0,762	12,17	148,08	0,315
34	73180000	Engenho Velho/Jacutinga	51 a 97	52 a 93	42	24,49	46,77	2187,71	0,774	23,81	566,90	0,337
35	73300000	Bonito/Irani	51 a 06	52 a 81	30	18,25	23,69	560,98	0,813	14,30	204,60	0,462
36	73330000	Passo Alto Irani/Irani	58 a 06	59 a 93	35	28,57	46,07	2122,78	0,759	24,75	612,33	0,384
37	73600000	Abelardo Luz/Chapecó	53 a 06	73 a 02	30	68,96	84,26	7099,98	0,870	52,79	2786,23	0,397
38	73705000	Chapecozinho/Chapecozinho	79 a 85	80 a 85	6	48,31	66,06	4363,28	0,872	44,38	1969,24	0,434
39	73820000	Passo Pio X/Burro Branco	60 a 06	61 a 91	31	25,31	55,71	3103,18	0,661	26,38	696,09	0,281
40	81125000	Turvo/Turvo	45 a 05	46 a 05	60	7,69	4,98	24,78	0,806	3,50	12,28	0,714
41	81135000	B. do Cerro Azul/Rib. Do Iguapé	30 a 05	31 a 80	50	66,57	57,90	3352,47	0,737	33,67	1133,62	0,564
42	81300000	Praia Grande/Capivari	30 a 69	31 a 68	38	16,21	12,19	148,61	0,824	7,14	51,03	0,505
43	82320000	Corupá/Novo	45 a 05	46 a 90	45	7,16	8,38	70,18	0,693	4,45	19,83	0,484
44	82350000	Jaraguá do Sul/Itapocu	39 a 06	42 a 01	60	25,77	36,34	1320,59	0,568	16,82	283,04	0,410
45	82370000	Jaraguá/Jaraguá	44 a 06	45 a 90	46	9,38	13,87	192,24	0,499	6,19	38,36	0,443
46	83050000	Taió/Itajaí do Oeste	29 a 04	30 a 82	53	36,88	53,72	2885,64	0,872	32,00	1023,70	0,368
47	83060000	Pouso Redondo/das Pombas	34 a 66	35 a 66	32	2,77	4,79	22,92	0,715	2,46	6,07	0,410
48	83250000	Ituporanga/Itajaí do Sul	30 a 04	40 a 97	68	32,63	51,41	2642,72	0,780	30,45	927,20	0,502
49	83660000	Benedito Novo/Benedito	34 a 04	35 a 87	53	18,34	23,81	567,12	0,753	13,13	172,31	0,410
50	83675000	Arrozeira/dos Cedros	29 a 04	30 a 66	37	14,01	16,55	273,96	0,665	8,78	77,13	0,483
51	83680000	Timbó/Benedito	34 a 89	35 a 71	37	38,55	43,29	1873,91	0,743	25,06	627,81	0,488
52	83720000	Rio do Testo/do Testo	34 a 66	35 a 66	32	3,53	3,17	10,05	0,560	1,68	2,83	0,603
53	83820000	Garcia/Garcia	34 a 66	35 a 66	32	3,42	3,45	11,88	0,525	1,76	3,10	0,563
54	83900000	Brusque/Itajaí Mirim	29 a 06	30 a 63	34	37,73	33,28	1107,82	0,778	19,55	382,10	0,475
55	84071000	Major/Tijucas	44 a 06	45 a 04	60	25,27	23,62	557,75	0,699	14,15	200,14	0,563
56	84095000	Nova Trento/Alto Braço	44 a 06	45 a 75	31	12,82	10,71	114,72	0,775	6,74	45,49	0,531
57	84100000	Poço Fundo/Cubatão	50 a 06	62 a 84	25	12,86	14,59	212,94	0,598	7,34	53,94	0,547
58	84520000	Divisa Anitápolis/Braço do Norte	45 a 04	45 a 94	50	10,49	8,76	76,69	0,626	5,02	25,23	0,569
59	84560002	São Ludgero II/Braço do Norte	47 a 87	47 a 87	41	44,67	48,20	2323,54	0,676	27,11	735,18	0,516
60	84580000	Rio do Pouso/Tubarão	40 a 04	40 a 90	51	66,59	73,07	5338,98	0,735	42,90	1839,96	0,497
61	84600000	Armazém Capivari/Capivari	43 a 02	43 a 82	40	18,10	13,90	193,09	0,817	9,05	81,93	0,620
62	84950000	Taquaraçu/Itoupava	43 a 04	48 a 84	37	34,68	62,03	3847,27	0,714	29,54	872,76	0,298

TABELA 4.2. – PARÂMETROS DO MODELO SOSN

N	Código	Estação Fluviométrica/Rio	Parâmetros SOSN				
			b1	b2	θ1	θ2	υ12
1	64242000	Tamanduá/Jaguariaiva	0,50	0,028	56,39	11,77	0,0552
2	64360000	Tomazina/das Cinzas	0,47	0,036	90,91	17,82	0,0501
3	64382000	Fazenda Casa Branca/Laranjinha	0,56	0,043	246,28	38,79	0,0280
4	64390000	Porto Sta. Terezinha/Laranjinha	0,30	0,039	122,43	30,28	0,0245
5	64550000	Vila Silva Jardim/Pirapó	0,26	0,025	32,77	6,43	0,1561
6	64620000	Rio dos Patos/ dos Patos	0,25	0,020	87,71	8,38	0,0327
7	64625000	Tereza Cristina/Ivaí	0,32	0,047	313,56	52,67	0,0392
8	64775000	Balsa do Cantu/Cantu	0,31	0,007	397,89	17,17	0,0179
9	64810000	Balsa do Goio Erê/ Goio Erê	0,27	0,012	29,17	8,47	0,0532
10	65010000	Fazendinha/Pequeno	0,21	0,012	3,37	0,47	0,0550
11	65035000	Porto Amazonas/Iguaçu	0,18	0,026	62,82	30,53	0,0465
12	65095000	Rio Preto do Sul/Negro	0,26	0,046	34,13	19,31	0,0921
13	65100000	Rio Negro/Negro	0,21	0,029	51,43	27,73	0,0507
14	65135000	Rio da Várzea dos Lima/da Várzea	0,17	0,012	12,26	1,86	0,0467
15	65155000	São Bento/da Várzea	0,18	0,025	17,64	14,29	0,0499
16	65365000	Porto Vitória/Espingarda	0,37	0,051	6,50	2,50	0,0648
17	65370000	Jangada/Jangada	0,35	0,023	76,23	10,40	0,0395
18	65415000	Fazenda Maracanã/Palmital	0,31	0,021	24,71	2,82	0,0400
19	65810000	Guarapuava/Jordão	0,45	0,027	39,44	5,62	0,0503
20	65825000	Santa Clara/Jordão	0,20	0,030	187,93	54,49	0,0440
21	65925000	Salto Claudelino/Chopim	0,32	0,048	128,00	33,12	0,0551
22	65927000	Porto Palmeirinha/Chopim	0,26	0,009	279,87	30,32	0,0207
23	65955000	Balsa do Santana/Santana	0,27	0,032	154,01	24,77	0,0396
24	70200000	Invernada Velha/Pelotas	0,35	0,021	347,65	4,84	0,0627
25	70300000	Fazenda Mineira/Lava Tudo	0,37	0,021	137,16	1,41	0,0659
26	70500000	Coxilha Rica/Pelotinhas	0,50	0,051	84,81	2,74	0,0722
27	71200000	Vila Canoas/Canoas	0,26	0,029	53,77	13,09	0,0529
28	71300000	Rio Bonito/Canoas	0,21	0,028	57,52	24,81	0,0446
29	71383000	Ponte Alta do Sul/Canoas	0,24	0,032	95,77	69,74	0,0425
30	71498000	Passo Marombas/das Marombas	0,26	0,021	210,71	31,72	0,0420
31	72630000	Passo Santa Tereza/Apuaê	0,45	0,031	250,54	32,32	0,0447
32	72680000	Passo Colombeli/Apuaê	0,45	0,031	471,08	49,29	0,0352

33	72870000	Barra do Rio Pardo/Leão	0,31	0,021	70,79	2,72	0,0327
34	73180000	Engenho Velho/Jacutinga	0,45	0,031	153,01	10,80	0,0356
35	73300000	Bonito/Irani	0,35	0,021	58,70	6,49	0,0383
36	73330000	Passo Alto Irani/Irani	0,35	0,021	128,65	8,06	0,0380
37	73600000	Abelardo Luz/Chapecó	0,31	0,028	163,96	25,75	0,0480
38	73705000	Chapecozinho/Chapecozinho	0,30	0,030	133,40	31,71	0,0322
39	73820000	Passo Pio X/Burro Branco	0,40	0,021	195,97	6,41	0,0318
40	81125000	Turvo/Turvo	0,40	0,021	6,56	1,37	0,0942
41	81135000	B. do Cerro Azul/Rib. Do Iguapé	0,40	0,005	193,39	8,89	0,0294
42	81300000	Praia Grande/Capivari	0,46	0,016	22,95	1,94	0,0947
43	82320000	Corupá/Novo	0,40	0,051	13,73	1,66	0,1070
44	82350000	Jaraguá do Sul/Itapocu	0,50	0,021	95,34	3,59	0,0713
45	82370000	Jaraguá/Jaraguá	0,47	0,051	28,28	1,31	0,1093
46	83050000	Taió/Itajaí do Oeste	0,29	0,031	114,46	14,43	0,0429
47	83060000	Pouso Redondo/das Pombas	0,48	0,041	13,59	1,28	0,0465
48	83250000	Ituporanga/Itajaí do Sul	0,50	0,019	199,25	19,25	0,0231
49	83660000	Benedito Novo/Benedito	0,40	0,021	60,25	4,63	0,0495
50	83675000	Arrozeira/dos Cedros	0,45	0,051	29,06	3,69	0,1023
51	83680000	Timbó/Benedito	0,30	0,021	81,98	6,92	0,0640
52	83720000	Rio do Testo/do Testo	0,50	0,031	5,38	0,46	0,1382
53	83820000	Garcia/Garcia	0,47	0,051	5,23	0,56	0,1552
54	83900000	Brusque/Itajaí Mirim	0,38	0,014	68,87	5,42	0,0664
55	84071000	Major/Tijucas	0,45	0,021	48,88	5,29	0,0701
56	84095000	Nova Trento/Alto Braço	0,50	0,021	21,39	2,73	0,0742
57	84100000	Poço Fundo/Cubatão	0,48	0,051	25,05	2,50	0,1272
58	84520000	Divisa Anitápolis/Braço do Norte	0,48	0,021	16,49	1,51	0,0985
59	84560002	São Ludgero II/Braço do Norte	0,48	0,021	115,90	9,94	0,0625
60	84580000	Rio do Pouso/Tubarão	0,48	0,021	183,10	18,34	0,0531
61	84600000	Armazém Capivari/Capivari	0,48	0,021	24,89	3,62	0,0807
62	84950000	Taquaraçu/Itoupava	0,48	0,022	205,26	8,89	0,0417

4.2. VARIÁVEIS INDEPENDENTES

Como descrito no item 3.8 as variáveis independentes para os parâmetros do modelo SOSN, de WEISS (1977), são:

1. Área de Drenagem até a estação fluviométrica i ;
2. Declividade média da nascente até a estação fluviométrica i ;
3. Chuva anual média da estação pluviométrica mais próxima da estação fluviométrica i ;
4. Médias de dias consecutivos sem chuva na estação pluviométrica mais próxima da estação fluviométrica i ;
5. Localização da estação quanto a sua característica geológica, para as regressões esta variável foi dividida em duas, sendo variáveis binárias que representam as 3 áreas geologicamente distintas, descritas no item 3.7. Sendo L1(0) e L2(0) área 1 – bacia litorânea; L1(1) e L2(0) área 2, arenito; e L1(0) e L2(1) área 3, basalto.

Os valores referentes as variáveis independentes para cada estação encontram-se na tabela a seguir.

TABELA 4.3. – VARIÁVEIS INDEPENDENTES

N	Código	Estação Fluviométrica/Rio	Área (km²)	Decliv. (m/km)	Chuva Anual Média (mm)	Média Dias Cons. s/ chuva	Localiz. L1	Localiz. L2
1	64242000	Tamanduá/Jaguariaiva	1622,0	5,41	1292,10	5,19	1,0	0,0
2	64360000	Tomazina/das Cinzas	2015,0	7,43	1354,15	5,93	1,0	0,0
3	64382000	Fazenda Casa Branca/Laranjinha	2602,0	3,54	1449,05	5,80	0,0	1,0
4	64390000	Porto Sta. Terezinha/Laranjinha	3445,0	3,79	1266,55	5,96	0,0	1,0
5	64550000	Vila Silva Jardim/Pirapó	4630,0	3,28	1299,40	6,94	0,0	1,0
6	64620000	Rio dos Patos/ dos Patos	1086,0	1,67	1598,70	5,09	1,0	0,0
7	64625000	Tereza Cristina/Ivaí	3570,0	1,29	1664,40	4,33	1,0	0,0
8	64775000	Balsa do Cantu/Cantu	2513,0	8,42	1883,40	4,30	0,0	1,0
9	64810000	Balsa do Goio Erê/ Goio Erê	2424,0	3,89	1423,50	6,20	0,0	1,0
10	65010000	Fazendinha/Pequeno	117,0	5,32	1341,85	4,75	1,0	0,0
11	65035000	Porto Amazonas/Iguaçu	3662,0	5,97	1562,20	3,86	1,0	0,0
12	65095000	Rio Preto do Sul/Negro	2495,0	1,58	1496,50	3,88	1,0	0,0
13	65100000	Rio Negro/Negro	3379,0	0,75	1565,85	3,09	1,0	0,0
14	65135000	Rio da Várzea dos Lima/da Várzea	602,0	2,21	1408,90	4,31	1,0	0,0
15	65155000	São Bento/da Várzea	2012,0	2,51	1606,00	4,85	1,0	0,0
16	65365000	Porto Vitória/Espingarda	165,0	25,57	1682,65	4,63	1,0	0,0
17	65370000	Jangada/Jangada	1055,0	2,96	1919,90	3,56	0,0	1,0
18	65415000	Fazenda Maracanã/Palmital	323,0	5,50	1923,55	4,52	0,0	1,0
19	65810000	Guarapuava/Jordão	731,0	7,88	1905,30	3,88	0,0	1,0
20	65825000	Santa Clara/Jordão	3913,0	3,61	2025,75	4,02	0,0	1,0
21	65925000	Salto Claudelino/Chopim	1782,0	8,69	2137,25	4,39	0,0	1,0
22	65927000	Porto Palmeirinha/Chopim	3410,0	5,19	1850,88	5,30	0,0	1,0
23	65955000	Balsa do Santana/Santana	1720,0	3,83	1934,22	4,54	0,0	1,0
24	70200000	Invernada Velha/Pelotas	2841,0	1,33	1605,02	4,43	0,0	1,0
25	70300000	Fazenda Mineira/Lava Tudo	1119,0	6,57	1618,27	4,98	0,0	1,0
26	70500000	Coxilha Rica/Pelotinhas	548,0	7,61	1404,82	5,85	0,0	1,0
27	71200000	Vila Canoas/Canoas	989,0	8,93	1503,40	5,02	1,0	0,0
28	71300000	Rio Bonito/Canoas	1984,0	7,46	1534,22	4,45	1,0	0,0
29	71383000	Ponte Alta do Sul/Canoas	4631,0	3,34	1552,31	4,99	1,0	0,0
30	71498000	Passo Marombas/das Marombas	3654,0	5,07	1565,36	4,76	0,0	1,0
31	72630000	Passo Santa Tereza/Apuaê	2775,0	1,43	1804,51	4,91	0,0	1,0
32	72680000	Passo Colombeli/Apuaê	3626,0	1,29	1769,72	4,71	0,0	1,0

33	72870000	Barra do Rio Pardo/Leão	414,0	7,92	1767,34	4,24	0,0	1,0
34	73180000	Engenho Velho/Jacutinga	938,0	5,35	1878,99	4,63	0,0	1,0
35	73300000	Bonito/Irani	630,0	18,64	1960,07	4,30	0,0	1,0
36	73330000	Passo Alto Irani/Irani	900,0	8,24	2207,65	4,55	0,0	1,0
37	73600000	Abelardo Luz/Chapecó	1850,0	3,88	1989,72	4,26	0,0	1,0
38	73705000	Chapecozinho/Chapecozinho	1410,0	8,04	1891,45	3,92	0,0	1,0
39	73820000	Passo Pio X/Burro Branco	992,0	10,78	1902,46	5,06	0,0	1,0
40	81125000	Turvo/Turvo	392,0	18,74	1313,23	5,39	0,0	0,0
41	81135000	B. do Cerro Azul/Rib. Do Iguapé	4570,0	7,03	1144,32	5,37	0,0	0,0
42	81300000	Praia Grande/Capivari	920,0	6,38	1570,56	3,63	0,0	0,0
43	82320000	Corupá/Novo	164,0	50,54	1871,50	3,00	0,0	0,0
44	82350000	Jaraguá do Sul/Itapocu	796,0	56,13	1788,91	3,89	0,0	0,0
45	82370000	Jaraguá/Jaraguá	391,0	2,46	1788,91	3,89	0,0	0,0
46	83050000	Taió/Itajaí do Oeste	1575,0	14,67	1479,95	4,57	0,0	0,0
47	83060000	Pouso Redondo/das Pombas	130,0	19,23	1447,25	4,65	0,0	0,0
48	83250000	Ituporanga/Itajaí do Sul	1774,0	9,40	1513,82	4,12	0,0	0,0
49	83660000	Benedito Novo/Benedito	692,0	30,37	1560,30	4,70	0,0	0,0
50	83675000	Arrozeira/dos Cedros	455,0	22,71	1943,45	3,54	0,0	0,0
51	83680000	Timbó/Benedito	1342,0	20,15	1432,77	4,14	0,0	0,0
52	83720000	Rio do Testo/do Testo	106,0	51,55	1790,01	3,09	0,0	0,0
53	83820000	Garcia/Garcia	127,0	20,58	1657,62	3,58	0,0	0,0
54	83900000	Brusque/Itajaí Mirim	1240,0	9,88	1876,97	3,68	0,0	0,0
55	84071000	Major/Tijucas	1042,0	16,22	1576,29	3,84	0,0	0,0
56	84095000	Nova Trento/Alto Braço	598,0	14,28	1319,85	6,12	0,0	0,0
57	84100000	Poço Fundo/Cubatão	400,0	11,41	1634,34	4,48	0,0	0,0
58	84520000	Divisa Anitápolis/Braço do Norte	380,0	27,36	1782,53	4,19	0,0	0,0
59	84560002	São Ludgero II/Braço do Norte	1700,0	14,81	1298,32	4,15	0,0	0,0
60	84580000	Rio do Pouso/Tubarão	2740,0	4,51	1246,87	4,17	0,0	0,0
61	84600000	Armazém Capivari/Capivari	770,0	20,56	1289,06	4,64	0,0	0,0
62	84950000	Taquaraçu/Itoupava	898,0	23,59	1315,52	5,74	0,0	0,0

4.3. REGRESSÃO MÚLTIPLA E INFERÊNCIAS ESTATÍSTICAS

Cabe ressaltar que, para as regressões a seguir, utilizou-se os logaritmos naturais neperianos da variável dependente e das variáveis independentes. Apenas para variável constante e variáveis de localização, onde a primeira é sempre unitária, e as seguintes são binárias, não foram utilizados seus logaritmos. Ainda, para todas as regressões foram testadas regressões com todas as combinações possíveis da variável dependente com as variáveis independentes, e apenas estão descritas nesta dissertação aquelas que apresentaram os melhores resultados para as inferências estatísticas utilizadas e descritas no item 3.8.

4.3.1. Parâmetro b_I

Para o parâmetro b_I , caracterizado pela recessão superficial, foram obtidos resultados melhores utilizando todas variáveis independentes, porém, posteriormente a esta constatação, a fim de melhorar os resultados da regressão, decidiu-se retirar algumas estações que não obedeceram bem à regressão, as quais provocaram grandes erros entre o parâmetro observado e o estimado. As estações retiradas encontram-se na tabela abaixo.

TABELA 4.4. – ESTAÇÕES DESCARTADAS

Código	Estação Fluviométrica/Rio
64242000	Tamanduá/Jaguariaiva
64360000	Tomazina/das Cinzas
64382000	Fazenda Casa Branca/Laranjinha
65135000	Rio da Várzea dos Lima/da Várzea
65155000	São Bento/da Várzea
65810000	Guarapuava/Jordão
70500000	Coxilha Rica/Pelotinhas
72630000	Passo Santa Tereza/Apuaê
72680000	Passo Colombeli/Apuaê
73180000	Engenho Velho/Jacutinga
81125000	Turvo/Turvo
83050000	Taió/Itajaí do Oeste

Como se pode ver foram descartadas 12 estações ficando com um total de 50 estações e 7 variáveis independentes. A fórmula da regressão obtida é:

$$\ln(b_1) = -2,078 - 0,062 \ln(A) - 0,017 \ln(D) + 0,192(C) + 0,226 \ln(DSC) - 0,599(L1) - 0,410(L2) \quad (4.1)$$

TABELA 4.5. – COEFICIENTES DA REGRESSÃO

Coeficientes	Valor
Beta 1 (constante)	-2,07816
Beta 2 (área-A)	-0,06167
Beta 3 (declividade-D)	-0,01707
Beta 4 (chuva media anual-C)	0,19157
Beta 5 (média dias consec. sem chuva-DSC)	0,22582
Beta 6 (localização-L1)	-0,59855
Beta 7 (localização-L2)	-0,41016

Para esta equação chegou-se nos seguintes valores para o parâmetro b_1 , sendo estes mostrados na mesma ordem que as estações fluviométricas e contrapostos aos valores observados:

TABELA 4.6. – PARÂMETRO b_1 OBSERVADO E O ESTIMADO

b_1									
Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est
0,30	0,29	0,37	0,28	0,21	0,24	0,46	0,44	0,47	0,49
0,26	0,30	0,35	0,30	0,24	0,24	0,40	0,46	0,38	0,44
0,25	0,26	0,31	0,34	0,26	0,28	0,50	0,44	0,45	0,43
0,32	0,24	0,20	0,29	0,31	0,32	0,47	0,49	0,50	0,48
0,31	0,29	0,32	0,31	0,35	0,32	0,48	0,50	0,48	0,48
0,27	0,31	0,26	0,30	0,35	0,32	0,50	0,43	0,48	0,48
0,21	0,28	0,27	0,31	0,31	0,30	0,40	0,46	0,48	0,41
0,18	0,22	0,35	0,29	0,30	0,30	0,45	0,46	0,48	0,41
0,26	0,23	0,37	0,31	0,40	0,32	0,30	0,42	0,48	0,44
0,21	0,22	0,26	0,25	0,40	0,41	0,50	0,48	0,48	0,46

Os dois gráficos a seguir mostram a relação entre o parâmetro observado e o estimado, e a variância dos resíduos à medida que a variável independente escolhida como possível causadora de heteroscedasticidade aumenta, respectivamente.

FIGURA 4.1. RELAÇÃO ENTRE b_1 OBSERVADO E b_1 ESTIMADO

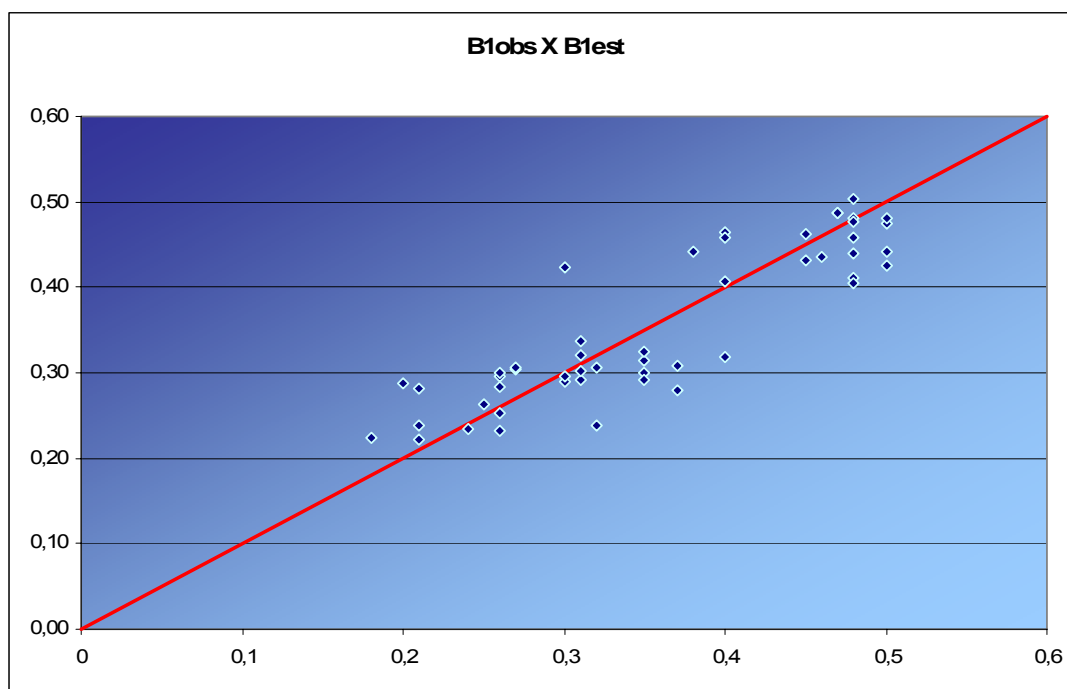
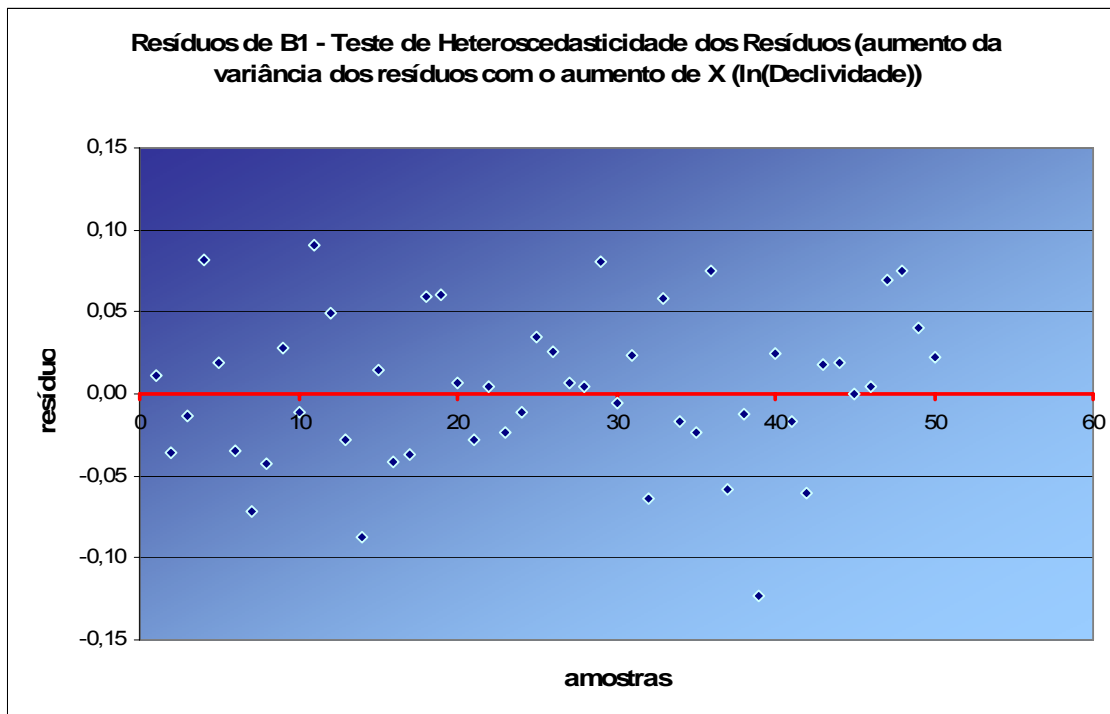


FIGURA 4.2. ERROS DA REGRESSÃO COM O AUMENTO DA DECLIVIDADE



O gráfico da figura 4.1. mostra os valores de b_1 observados em relação aos estimados, e verifica suas posições em relação a uma reta de 45°. Nota-se que eles tem um bom comportamento, indicando um bom ajuste da regressão. Já o gráfico da figura 4.2. indica ou não a presença de heteroscedasticidade. Se a variância dos resíduos tende a se alterar à medida que a variável independente escolhida como possível causadora de heteroscedasticidade aumenta, pode ser um indicio da não aleatoriedade dos resíduos. Aparentemente, pela figura 4.2., não se pode rejeitar a hipótese nula de homoscedasticidade, mas é necessário verificar o resultado do teste de Goldfeld-Quandt tal afirmação.

A tabela a seguir mostra os resultados das inferências estatísticas calculadas.

TABELA 4.7. – INFERÊNCIA ESTATÍSTICA SOBRE A REGRESSÃO DE b_1

Inferência Estatística	Valor
R^2	0,7743
R	0,8800
S^2	0,00251
Normalidade dos Resíduos	H0: $\chi^2(0,95, GL=2) = 5,99$
	N = 0,90 < H0 (Normal)
Teste F	H0: F(0.95,7,50) = 2,21
	F = 24,59 > H0 (rejeitado)
Teste t student	H0: t(0,95, GL=43) > +/- 1,68
	t1 = -3.35488
	t2 = -6.83575
	t3 = -1.52004 < H0 (rejeitado)
	t4 = 2.54918
	t5 = 3.77313
	t6 = -24.14415
	t7 = -14.83021
Heteroscedasticidade	H0: F(13,13) = 2,58
	F 1,46 < H0

Para o teste de heteroscedasticidade de Goldfeld-Quandt foi utilizada como variável independente para ordenar o quadrado dos resíduos o logaritmo neperiano da declividade. Retirou-se 10 amostras do meio, ficando com 2 amostras de 20 estações. O teste de normalidade foi dividido em 4 classes (classe 1: de $-\infty$ até -1,0; Classe 2: de -1,0 até 0,0; Classe 3: de 0,0 até 1,0; Classe 4: de 1,0, até $+\infty$).

Pelos valores encontrados para os testes de hipóteses, apenas a variável declividade para o teste t de student não passou, porém quando retirada da regressão, esta apresentou resultados piores, por isso esta variável dependente foi considerada.

4.3.2. Parâmetro b_2

Para o parâmetro b_2 , caracterizado pela recessão subterrânea, não foram encontrados bons resultados. Para todas as combinações de variáveis independentes

os resultados foram muito ruins. A seguir é apresentado o melhor resultado entre as regressões testadas.

Para esta regressão foram utilizadas 51 estações com todas as 7 variáveis independentes. . As estações retiradas encontram-se na tabela abaixo.

TABELA 4.8. – ESTAÇÕES DESCARTADAS

Código	Estação Fluviométrica/Rio
64382000	Fazenda Casa Branca/Laranjinha
64390000	Porto Sta. Terezinha/Laranjinha
64625000	Tereza Cristina/Ivaí
64775000	Balsa do Cantu/Cantu
65095000	Rio Preto do Sul/Negro
65925000	Salto Claudelino/Chopim
65927000	Porto Palmeirinha/Chopim
70500000	Coxilha Rica/Pelotinhas
81135000	B. do Cerro Azul/Rib. Do Iguapé
82370000	Jaraguá/Jaraguá
83900000	Brusque/Itajaí Mirim

A fórmula da regressão é:

$$\ln(b_2) = -15,831 + 0,002 \ln(A) - 0,036 \ln(D) + 1,602(C) + 0,374 \ln(DSC) - 0,091(L1) - 0,437(L2) \quad (4.2)$$

TABELA 4.9. – COEFICIENTES DA REGRESSÃO

Coeficientes	Valor
Beta 1 (constante)	-15.83066
Beta 2 (área-A)	0.00238
Beta 3 (declividade-D)	-0.03575
Beta 4 (chuva media anual-C)	1.60238
Beta 5 (média dias consec. sem chuva-DSC)	0.37443
Beta 6 (localização-L1)	-0.09067
Beta 7 (localização-L2)	-0.43719

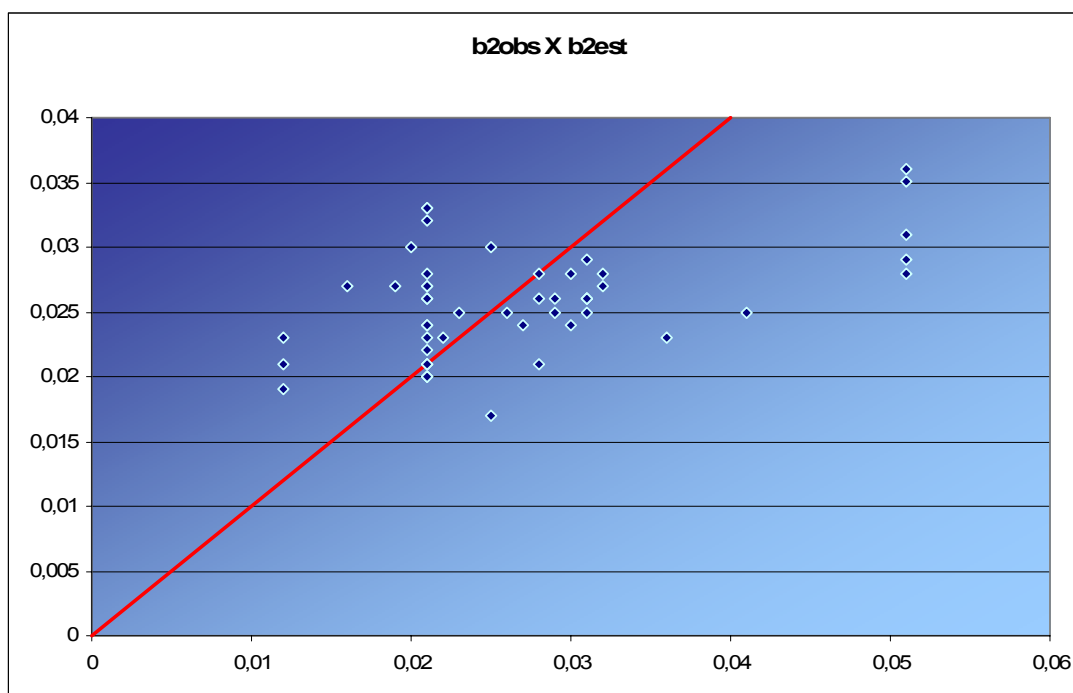
Para esta equação chegou-se nos seguintes valores para o parâmetro b_2 , sendo estes mostrados na mesma ordem que as estações fluviométricas e contrapostos aos valores observados:

TABELA 4.10. – PARÂMETRO b_2 OBSERVADO E O ESTIMADO

b_2									
obs	est	obs	est	obs	est	obs	est	obs	est
0,028	0,021	0,023	0,025	0,031	0,026	0,021	0,032	0,021	0,024
0,036	0,023	0,021	0,026	0,031	0,025	0,051	0,035	0,051	0,031
0,025	0,017	0,027	0,024	0,021	0,022	0,031	0,026	0,021	0,033
0,020	0,030	0,030	0,028	0,031	0,026	0,041	0,025	0,021	0,020
0,012	0,019	0,032	0,027	0,021	0,026	0,019	0,027	0,021	0,020
0,012	0,021	0,021	0,021	0,021	0,033	0,021	0,028	0,021	0,021
0,026	0,025	0,021	0,021	0,028	0,028	0,051	0,036	0,022	0,023
0,029	0,025	0,029	0,026	0,030	0,024	0,021	0,024		
0,012	0,023	0,028	0,026	0,021	0,027	0,031	0,029		
0,025	0,030	0,032	0,028	0,021	0,023	0,051	0,028		
0,051	0,029	0,021	0,020	0,016	0,027	0,021	0,027		

O gráfico a seguir mostra a relação entre o parâmetro observado e o estimado.

FIGURA 4.3. RELAÇÃO ENTRE b_2 OBSERVADO E b_2 ESTIMADO



O gráfico da figura 4.3. mostra os valores de b_2 observados em relação aos estimados, e verifica suas posições em relação a uma reta de 45°. Nota-se que eles não tem um bom comportamento, indicando um fraco ajuste da regressão. Este fato demonstra muitos problemas com esta regressão, que são comprovados pelos testes de hipóteses a seguir.

TABELA 4.11. – INFERÊNCIA ESTATÍSTICA SOBRE A REGRESSÃO DE b_2

Inferência Estatística	Valor
R^2	0,22408
R	0,47338
S^2	0,00009
Normalidade dos Resíduos	H0: $\chi^2(0,95, GL=2) = 5,99$
	N = 2,82 < H0 (Normal)
Teste F	H0: F(0.95,7,51) = 2,21
	F = 2,11 < H0 (rejeitada)
Teste t student	H0: t(0,95, GL=43) > +/- 1,68
	t1 = 126,30
	t2 = -1,40 < H0 (rejeitado)
	t3 = -17,70
	t4 = 104,25
	t5 = 33,51
	t6 = -21,09
	t7 = -81,24

O teste de normalidade foi dividido em 4 classes (classe 1: de $-\infty$ até -1,0; Classe 2: de -1,0 até 0,0; Classe 3: de 0,0 até 1,0; Classe 4: de 1,0, até $+\infty$).

Pelos valores encontrados para os testes de hipóteses, percebe-se que a regressão teve resultados muito ruins. Para solucionar tal problema, este parâmetro será regionalizado por interpolação espacial, já que não depende da área. Cabe ressaltar que, como não será utilizada esta regressão não foi realizado o teste de heteroscedasticidade.

4.3.3. Parâmetro θ_1

Para o parâmetro θ_1 , caracterizado pela vazão de escoamento superficial a ser acrescida, dado que choveu, obteve-se resultados melhores utilizando cinco variáveis independentes. Foram retiradas as variáveis independentes: declividade e média de dias consecutivos sem chuva. Posteriormente a esta constatação, a fim de melhorar os resultados da regressão, decidiu-se retirar algumas estações que não obedeceram bem a regressão, as quais provocaram grandes erros entre o parâmetro observado e o estimado. As estações retiradas encontram-se na tabela abaixo.

TABELA 4.12. – ESTAÇÕES DESCARTADAS

Código	Estação Fluviométrica/Rio
64550000	Vila Silva Jardim/Pirapó
64625000	Tereza Cristina/Ivaí
64775000	Balsa do Cantu/Cantu
64810000	Balsa do Goio Erê/ Goio Erê
65155000	São Bento/da Várzea
65825000	Santa Clara/Jordão
70500000	Coxilha Rica/Pelotinhas
72680000	Passo Colombeli/Apuaê
73820000	Passo Pio X/Burro Branco
83250000	Ituporanga/Itajaí do Sul
84950000	Taquaraçu/Itoupava

Como se pode observar foram descartadas 11 estações ficando com um total de 51 estações e 5 variáveis independentes. A fórmula da regressão obtida é:

$$\ln(\theta_1) = -7,895 + 0,932 \ln(A) + 0,738(C) - 0,553(L1) + 0,442(L2) \quad (4.3)$$

TABELA 4.13. – COEFICIENTES DA REGRESSÃO

Coeficientes	Valor
Beta 1 (constante)	-7.89500
Beta 2 (área-A)	0.93222
Beta 3 (chuva media anual-C)	0.73769
Beta 4 (localização-L1)	-0.55342
Beta 5 (localização-L2)	0.44181

Para esta equação chegou-se nos seguintes valores para o parâmetro θ_I , sendo estes mostrados na mesma ordem que as estações fluviométricas e contrapostos aos valores observados:

TABELA 4.14. – PARÂMETRO θ_I OBSERVADO E O ESTIMADO

θ_I									
obs	est	obs	est	obs	est	obs	est	obs	est
56,40	41,53	76,23	100,79	210,71	276,24	13,73	11,21	48,88	55,41
90,91	52,64	24,71	33,50	250,54	237,16	95,35	47,32	21,39	28,96
246,29	190,09	39,44	71,16	70,80	39,65	28,28	24,39	25,05	23,29
122,43	223,60	128,01	177,76	153,01	88,92	114,46	77,73	16,49	23,68
87,71	33,44	279,86	292,72	58,70	63,33	13,59	7,47	115,91	75,75
3,37	3,68	154,01	159,82	128,65	96,36	60,26	37,56	183,09	114,75
62,82	102,15	347,65	222,47	163,96	174,77	29,06	29,85	24,89	36,02
34,13	69,18	137,17	93,86	133,41	130,62	81,98	65,35		
51,43	94,86	53,77	29,29	6,56	19,45	5,38	7,22		
12,26	17,58	57,52	56,92	193,39	173,54	5,23	8,08		
6,51	6,00	95,77	126,51	22,95	49,17	68,87	74,09		

Os dois gráficos a seguir mostram a relação entre o parâmetro observado e o estimado, e a variância dos resíduos a medida que a variável independente escolhida como possível causadora de heteroscedasticidade aumenta, respectivamente.

FIGURA 4.4. RELAÇÃO ENTRE θ_I OBSERVADO E θ_I ESTIMADO

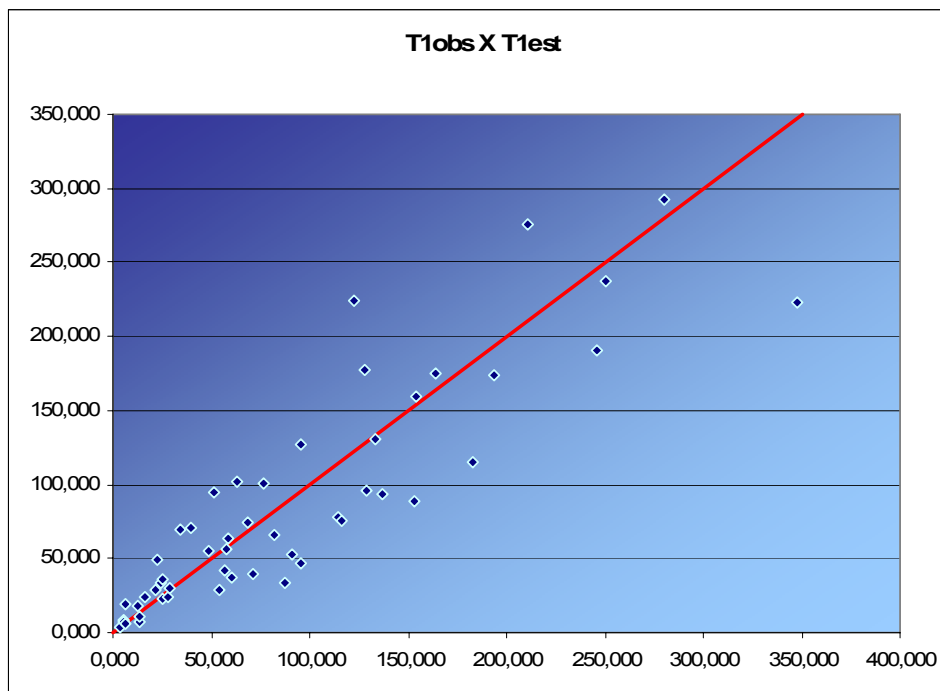
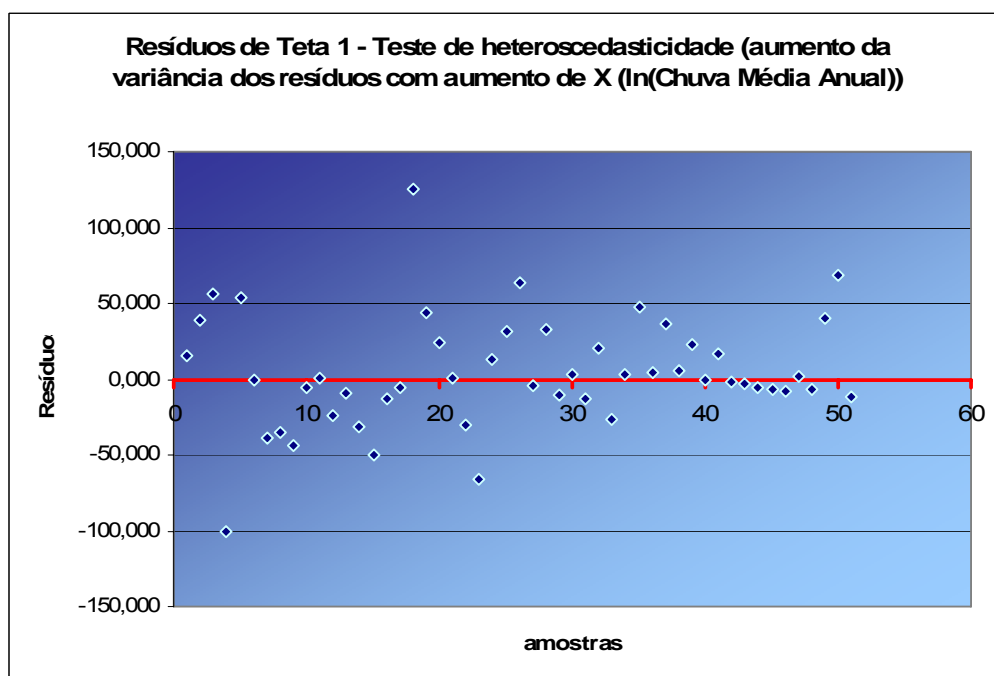


FIGURA 4.5. ERROS DA REGRESSÃO COM O AUMENTO DA CHUVA MÉDIA ANUAL



O gráfico da figura 4.4. mostra os valores de θ_I observados em relação aos estimados, e verifica suas posições em relação a uma reta de 45°. Nota-se que eles tem um bom comportamento, indicando um bom ajuste da regressão, com alguns valores mais dispersos. A figura 4.5. não mostra a possibilidade de heteroscedasticidade, sendo necessário um teste mais eficiente para tal.

A tabela a seguir mostra os resultados das inferências estatísticas calculadas.

TABELA 4.15. – INFERÊNCIA ESTATÍSTICA SOBRE A REGRESSÃO DE θ_I

Inferência Estatística	Valor
R^2	0,77927
R	0,88276
S^2	1505,66
Normalidade dos Resíduos	H0: $\chi^2(0,95, GL=2) = 5,99$
	N = 1,94 > H0 (Normal)
Teste F	H0: F(0.95,5,51) > 2,40
	F = 40,06 > H0 (rejeitado)
Teste t student	H0: t(0,95, GL=46) > +/- 1,68
	t1 = -0,023 < H0 (rejeitado)
	t2 = 0,148 < H0 (rejeitado)
	t3 = 0,016 < H0 (rejeitado)
	t4 = -0,038 < H0 (rejeitado)
	t5 = 0,028
Heteroscedasticidade	H0: F(15,15) = 2,40
	F = 2,05 < H0

Para o teste de heteroscedasticidade de Goldfeld-Quandt foi utilizada como variável independente para ordenar o quadrado dos resíduos o logaritmo neperiano da chuva média anual. Retirou-se 11 amostras do meio, ficando com 2 amostras de 20 estações. O teste de normalidade foi dividido em 4 classes (classe 1: de $-\infty$ até -1,0; Classe 2: de -1,0 até 0,0; Classe 3: de 0,0 até 1,0; Classe 4: de 1,0, até $+\infty$).

Pelos valores encontrados para os testes de hipóteses, os testes F e t de student mostram que todas variáveis poderiam ser nulas, porém o restante dos testes da regressão apresenta resultados satisfatórios, e como fica difícil a interpolação espacial,

por este parâmetro sofrer alterações com a variação da área da bacia hidrográfica, ou seja a medida que aumenta a área cresce o valor de θ_1 , optou-se por utilizar a regressão deste modo.

4.3.4. Parâmetro θ_2

Para o parâmetro θ_2 , caracterizado pela vazão de escoamento subterrâneo a ser acrescida, dado que choveu, obteve-se resultados melhores utilizando seis variáveis independentes. Foi retirada a variável independente: declividade. Posteriormente esta constatação, a fim de melhorar os resultados da regressão, decidiu-se retirar algumas estações que não obedeceram bem a regressão, provocando grandes erros entre o parâmetro observado e o estimado. As estações retiradas encontram-se na tabela abaixo.

TABELA 4.16. – ESTAÇÕES DESCARTADAS

Código	Estação Fluviométrica/Rio
64382000	Fazenda Casa Branca/Laranjinha
64390000	Porto Sta. Terezinha/Laranjinha
64550000	Vila Silva Jardim/Pirapó
65135000	Rio da Várzea dos Lima/da Várzea
70200000	Invernada Velha/Pelotas
70300000	Fazenda Mineira/Lava Tudo
73705000	Chapecozinho/Chapecozinho
81135000	B. do Cerro Azul/Rib. Do Iguapé
81300000	Praia Grande/Capivari
83250000	Ituporanga/Itajaí do Sul
83900000	Brusque/Itajaí Mirim
84580000	Rio do Pouso/Tubarão

Como se pode observar foram descartadas 12 estações ficando com um total de 50 estações e 6 variáveis independentes. A fórmula da regressão obtida é:

$$\ln(\theta_2) = -18,695 + 1,118 \ln(A) + 1,673 \ln(C) + 0,350 \ln(DSC) + 0,386(L1) + 0,051(L2) \quad (4.4)$$

TABELA 4.17. – COEFICIENTES DA REGRESSÃO

Coeficientes	Valor
Beta 1 (constante)	-18.69459
Beta 2 (área-A)	1.11782
Beta 3 (chuva media anual-C)	1.67268
Beta 4 (média dias s/ consec. chuva- DSC)	0.34990
Beta 5 (localização-L1)	0.38595
Beta 6 (localização-L2)	0.05087

Para esta equação chegou-se nos seguintes valores para o parâmetro θ_2 , sendo estes mostrados na mesma ordem que as estações fluviométricas e contrapostos aos valores observados:

TABELA 4.18. – PARÂMETRO θ_2 OBSERVADO E O ESTIMADO

θ_2									
obs	est	obs	est	obs	est	obs	est	obs	est
11,77	12,34	14,29	22,08	13,09	9,03	25,74	19,65	6,92	7,45
17,82	17,82	2,50	1,43	24,81	19,53	6,41	9,65	0,46	0,57
8,38	11,17	10,40	9,27	69,74	53,43	1,37	1,79	0,56	0,65
52,67	42,71	2,82	2,70	31,72	29,28	1,66	0,99	5,29	6,42
17,17	25,33	5,62	6,26	32,32	27,57	3,59	5,90	2,73	3,02
8,47	17,31	54,49	45,85	49,29	35,53	1,31	2,66	2,50	2,47
0,47	0,67	33,12	21,44	2,72	3,02	14,43	9,75	1,52	2,63
30,53	38,01	30,32	37,18	10,80	8,60	1,28	0,58	9,94	8,24
19,31	23,07	24,77	17,65	6,49	5,77	4,63	4,29	3,62	3,50
27,73	32,22	2,74	3,15	8,07	10,69	3,69	3,51	8,89	4,62

Os dois gráficos a seguir mostram a relação entre o parâmetro observado e o estimado, e a variância dos resíduos a medida que a variável independente escolhida como possível causadora de heteroscedasticidade aumenta, respectivamente.

FIGURA 4.6. RELAÇÃO ENTRE θ_2 OBSERVADO E θ_2 ESTIMADO

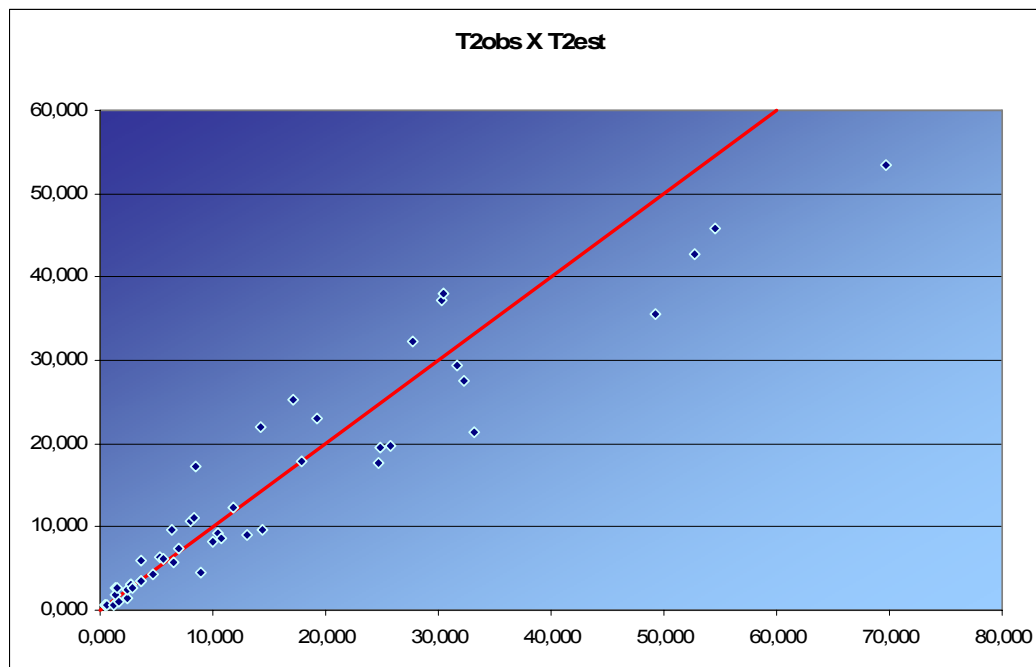
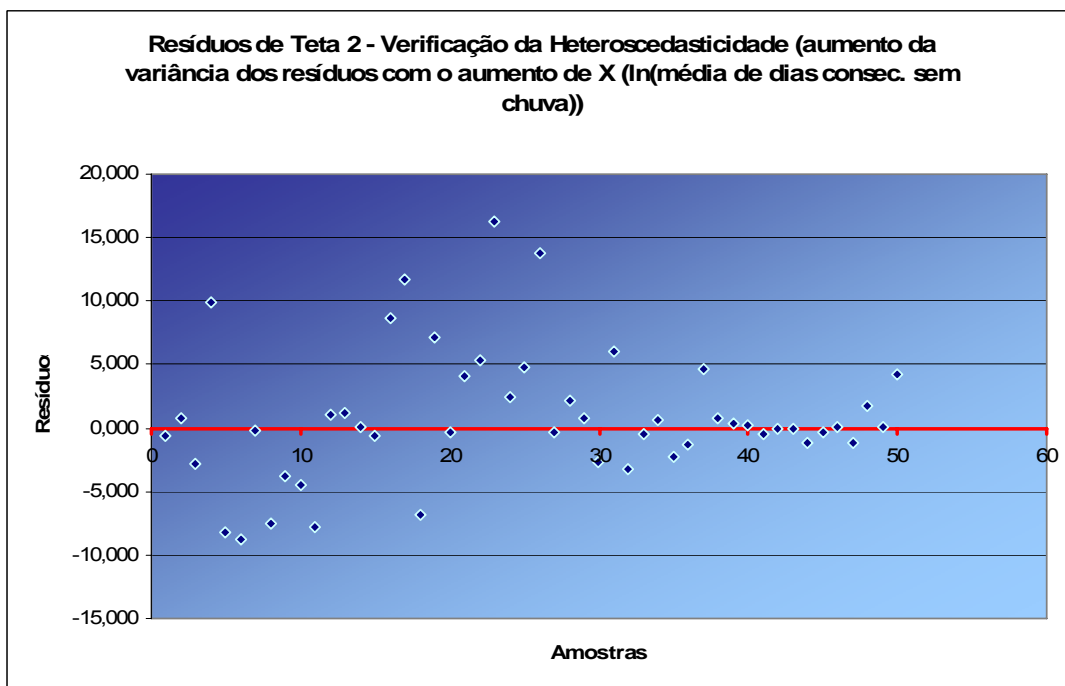


FIGURA 4.7. ERROS DA REGRESSÃO COM O AUMENTO DA MÉDIA DOS DIAS CONSEC. SEM CHUVA



O gráfico da figura 4.6. mostra os valores de θ_2 observados em relação aos estimados, e verifica suas posições em relação a uma reta de 45°. Nota-se que eles tem um bom comportamento, indicando um bom ajuste da regressão, com alguns valores mais dispersos com o aumento da variável dependente. A figura 4.7. mostra a possibilidade de heteroscedasticidade, sendo necessário um teste mais eficiente para tal confirmação.

A tabela a seguir mostra os resultados das inferências estatísticas calculadas.

TABELA 4.19. – INFERÊNCIA ESTATÍSTICA SOBRE A REGRESSÃO DE θ_2

Inferência Estatística	Valor
R^2	0,8925
R	0,9447
S^2	30,86
Normalidade dos Resíduos	H0: $\chi^2(0,95, GL=2) = 5,99$
	N = 1,63 < H0 (Normal)
Teste F	H0: F(0.95,6,50) > 2,30
	F = 73,06 > H0 (rejeitado)
Teste t student	H0: t(0,95, GL=44) > +/- 1,68
	t1 = -0,250 < H0 (rejeitado)
	t2 = 1,246 < H0 (rejeitado)
	t3 = 0,183 < H0 (rejeitado)
	t4 = 0,053 < H0 (rejeitado)
	t5 = 0,171 < H0 (rejeitado)
Heteroscedasticidade	H0: F(14,14) = 2,48
	F = 2,55 > H0 (rejeitado)

Para o teste de heteroscedasticidade de Goldfeld-Quandt foi utilizada como variável independente para ordenar o quadrado dos resíduos o logaritmo neperiano da média dos dias consecutivos sem chuva. Retirou-se 10 amostras do meio, ficando com 2 amostras de 20 estações. O teste de normalidade foi dividido em 4 classes (classe 1: de $-\infty$ até -1,0; Classe 2: de -1,0 até 0,0; Classe 3: de 0,0 até 1,0; Classe 4: de 1,0, até $+\infty$).

Pelos valores encontrados para os testes de hipóteses, percebe-se que a regressão obteve resultados bons. Porém, o teste t de student mostrou que todas as variáveis independentes poderiam ser nulas, ao contrário do teste F. Há também uma leve heteroscedasticidade na regressão, prejudicando a eficiência das estatísticas. Como dito no início deste item foram calculadas regressões para todas as combinações de variáveis independentes, e esta mostrou os melhores resultados, por isso foi a adotada.

4.3.5. Parâmetro v_{12}

Para o parâmetro v_{12} , caracterizado pelo por indicar o pulso indicando que choveu, obteve-se resultados melhores utilizando todas as variáveis independentes. Posteriormente a esta constatação, a fim de melhorar os resultados da regressão, decidiu-se retirar algumas estações que não obedeceram bem a regressão, as quais provocaram grandes erros entre o parâmetro observado e o estimado. As estações retiradas encontram-se na tabela abaixo.

TABELA 4.20. – ESTAÇÕES DESCARTADAS

Código	Estação Fluviométrica/Rio
64390000	Porto Sta. Terezinha/Laranjinha
64550000	Vila Silva Jardim/Pirapó
64620000	Rio dos Patos/ dos Patos
64775000	Balsa do Cantu/Cantu
64810000	Balsa do Goio Erê/ Goio Erê
65010000	Fazendinha/Pequeno
65095000	Rio Preto do Sul/Negro
72870000	Barra do Rio Pardo/Leão
81135000	B. do Cerro Azul/Rib. Do Iguapé
83250000	Ituporanga/Itajaí do Sul
83675000	Arrozeira/dos Cedros
84100000	Poço Fundo/Cubatão

Como se pode observar foram descartadas 12 estações ficando com um total de 50 estações e 7 variáveis independentes. A fórmula da regressão obtida é:

$$\ln(v_{12}) = 2,647 - 0,191\ln(A) - 0,051\ln(D) - 0,401\ln(C) - 0,655\ln(DSC) - 0,247(L1) - 0,350(L2) \quad (4.5)$$

TABELA 4.21. – COEFICIENTES DA REGRESSÃO

Coeficientes	Valor
Beta 1 (constante)	2.64663
Beta 2 (área-A)	-0.19102
Beta 3 (declividade-D)	-0.05067
Beta 4 (chuva media anual-C)	-0.40120
Beta 5 (média dias s/ consec. chuva- DSC)	-0.65491
Beta 6 (localização-L1)	-0.24724
Beta 7 (localização-L2)	-0.35006

Para esta equação chegou-se nos seguintes valores para o parâmetro v_{12} , sendo estes mostrados na mesma ordem que as estações fluviométricas e contrapostos aos valores observados:

TABELA 4.22. – PARÂMETRO v_{12} OBSERVADO E O ESTIMADO

v_{12}									
obs	est	obs	est	obs	est	obs	est	obs	est
0,055	0,047	0,040	0,054	0,045	0,046	0,032	0,039	0,138	0,112
0,050	0,040	0,050	0,051	0,042	0,038	0,094	0,072	0,155	0,106
0,028	0,035	0,044	0,036	0,042	0,036	0,095	0,078	0,066	0,067
0,039	0,045	0,055	0,037	0,045	0,037	0,107	0,103	0,070	0,070
0,047	0,045	0,021	0,032	0,035	0,037	0,071	0,065	0,074	0,062
0,051	0,059	0,040	0,040	0,036	0,044	0,109	0,088	0,098	0,074
0,047	0,065	0,063	0,042	0,038	0,046	0,043	0,060	0,062	0,066
0,050	0,045	0,066	0,043	0,038	0,041	0,047	0,094	0,053	0,065
0,065	0,066	0,072	0,046	0,048	0,041	0,049	0,065	0,081	0,070
0,039	0,052	0,053	0,049	0,032	0,044	0,064	0,065	0,042	0,059

Os dois gráficos a seguir mostram a relação entre o parâmetro observado e o estimado, e a variância dos resíduos a medida que a variável independente escolhida como possível causadora de heteroscedasticidade aumenta, respectivamente.

FIGURA 4.8. RELAÇÃO ENTRE v_{12} OBSERVADO E v_{12} ESTIMADO

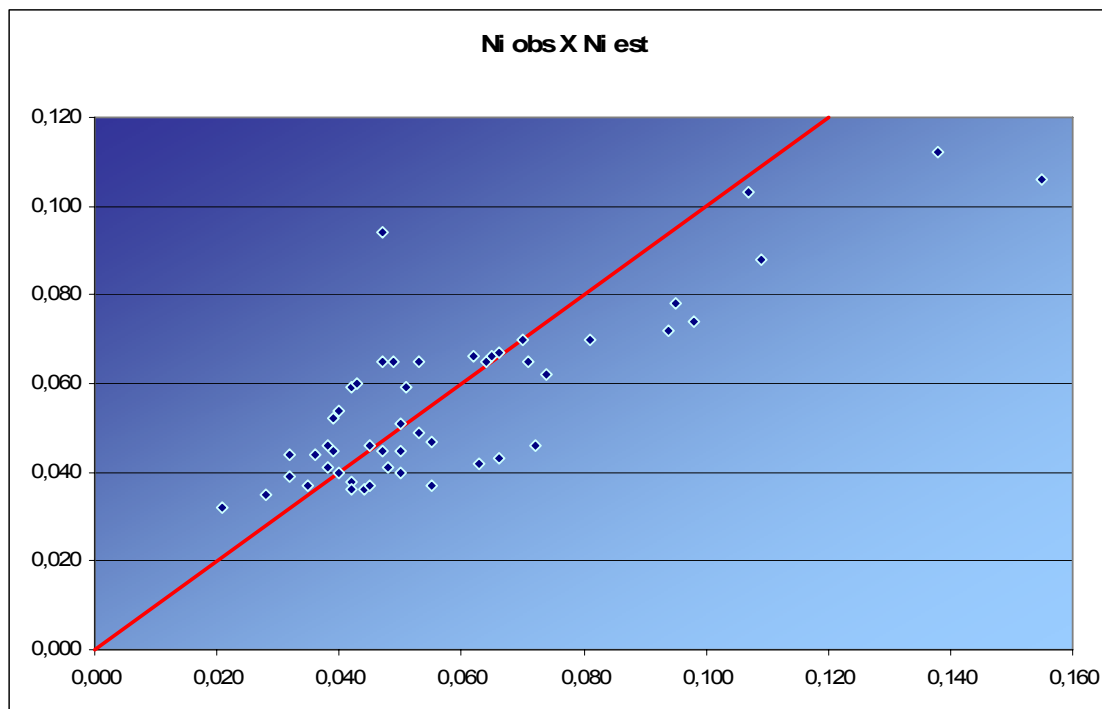
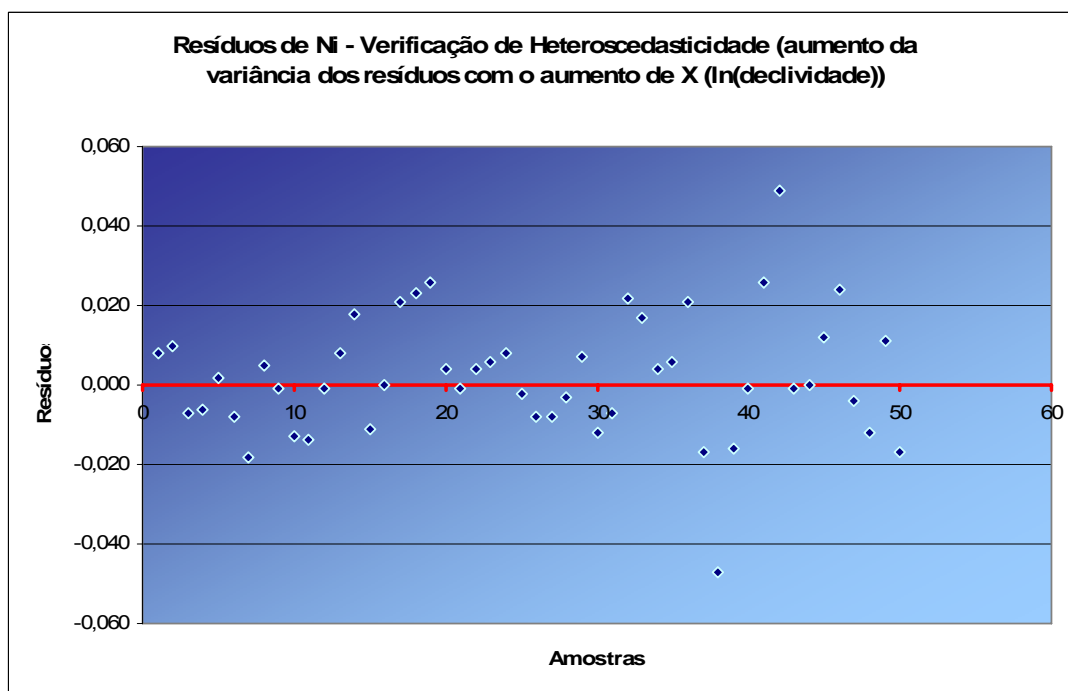


FIGURA 4.9. ERROS DA REGRESSÃO COM O AUMENTO DA DECLIVIDADE



O gráfico da figura 4.8. mostra os valores de v_{12} observados em relação aos estimados, e verifica suas posições em relação a uma reta de 45°. Nota-se que eles tem um bom comportamento, indicando um bom ajuste da regressão, com alguns valores mais dispersos com o aumento da variável dependente. A figura 4.9. mostra a possibilidade de heteroscedasticidade, porém é necessário um teste mais eficiente para tal confirmação.

A tabela a seguir mostra os resultados das inferências estatísticas calculadas.

TABELA 4.23. – INFERÊNCIA ESTATÍSTICA SOBRE A REGRESSÃO DE v_{12}

Inferência Estatística	Valor
R^2	0,66298
R	0,81424
S^2	0,00028
Normalidade dos Resíduos	H0: $\chi^2(0,95, GL=2) = 5,99$
	N = 3,06 < H0 (Normal)
Teste F	H0: F(0.95,7,50) > 2,21
	F = 14,1 > H0 (rejeitado)
Teste t student	H0: t(0,95, GL=43) > +/- 1,68
	t1 = 11,952
	t2 = -56,229
	t3 = -13,617
	t4 = -14,716
	t5 = -32,174
	t6 = -30,279
Heteroscedasticidade	H0: F(13,13) = 2,58
	F = 3,22 > H0 (rejeitado)

Para o teste de heteroscedasticidade de Goldfeld-Quandt foi utilizada como variável independente para ordenar o quadrado dos resíduos o logaritmo neperiano da declividade. Retirou-se 10 amostras do meio, ficando com 2 amostras de 20 estações. O teste de normalidade foi dividido em 4 classes (classe 1: de $-\infty$ até -1,0; Classe 2: de -1,0 até 0,0; Classe 3: de 0,0 até 1,0; Classe 4: de 1,0, até $+\infty$).

Os valores encontrados para os testes de hipóteses não são eficientes pois a regressão apresentou heteroscedasticidade. Percebe-se que a regressão obteve resultados apenas satisfatórios. O R^2 desta regressão foi o pior encontrado, já que o parâmetro b_2 será utilizado o método de interpolação espacial. Não foi achada outra solução para este parâmetro, então foi adotada a regressão descrita pela equação 4.5.

4.4. INTERPOLAÇÃO ESPACIAL

Como visto no item anterior (4.3) o parâmetro b_2 , recessão subterrânea, não respondeu bem a regressão múltipla para as variáveis independentes utilizadas. Este é um parâmetro para o qual a variação da área na bacia hidrográfica tem mínima importância num processo de regionalização, logo a interpolação espacial é um método que poderia resultar em melhores resultados.

Foi testada a interpolação pelo método de krigagem, ou *kriging*, e pelo método da ponderação pelo inverso da distância (IDW). Para esta pesquisa optou-se pelo método IDW, pois este preserva os valores observados nos pontos amostrais e tem curvas mais suavizadas e de fácil visualização, tendo um erro menor entre observado e estimado. Já o método de krigagem, além de não preservar os valores observados, mostrou-se difuso quanto as camadas de interpolação, não apresentando um bom resultado. As figuras 4.10 e 4.11 mostram os resultados da interpolação espacial para o método de krigagem e IDW, respectivamente.

FIGURA 4.10. INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DO PARÂMETRO b_2 PELO MÉTODO *KRIGING* (MAPA NO TAMANHO A3 EM ANEXO)

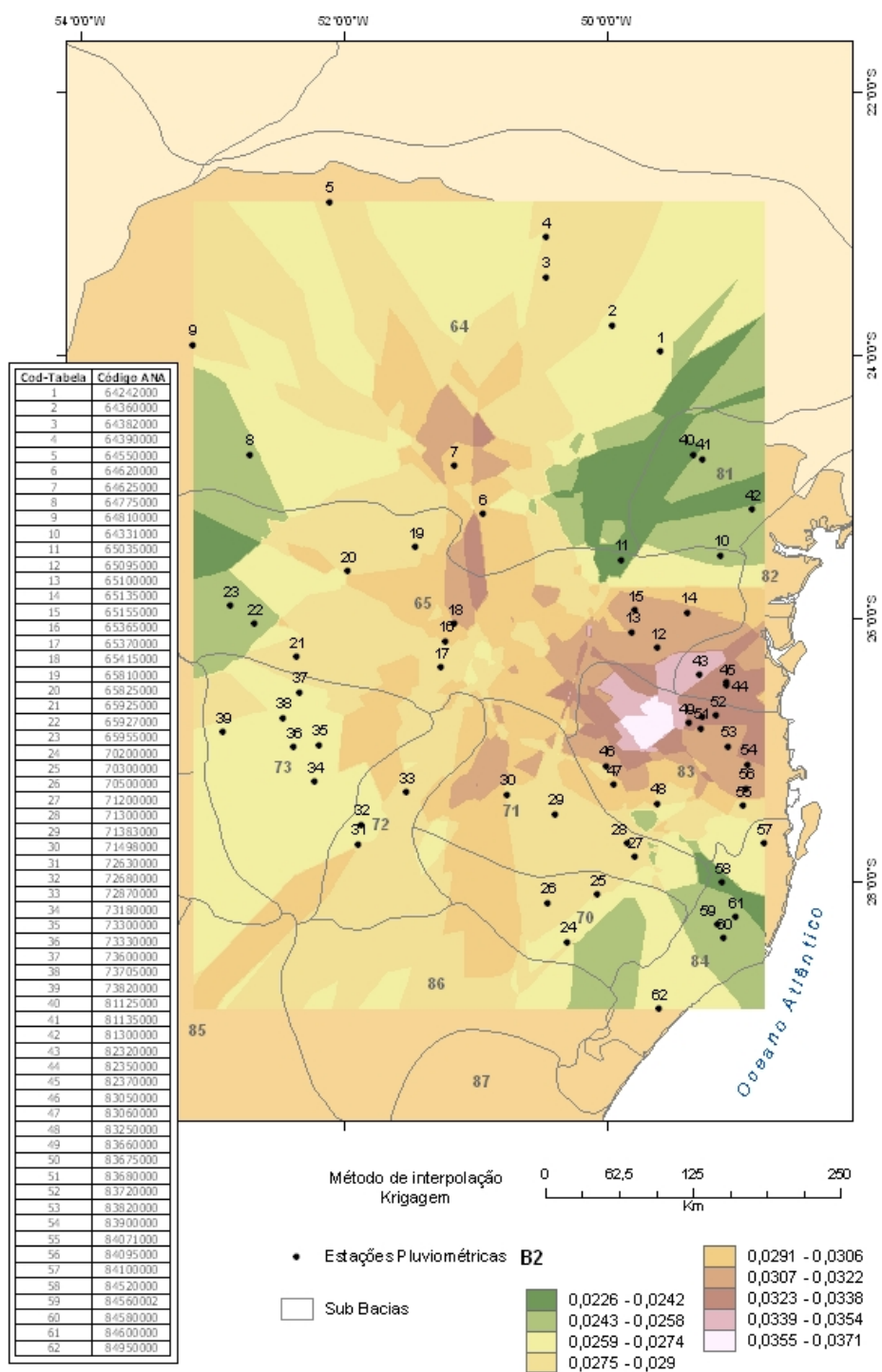
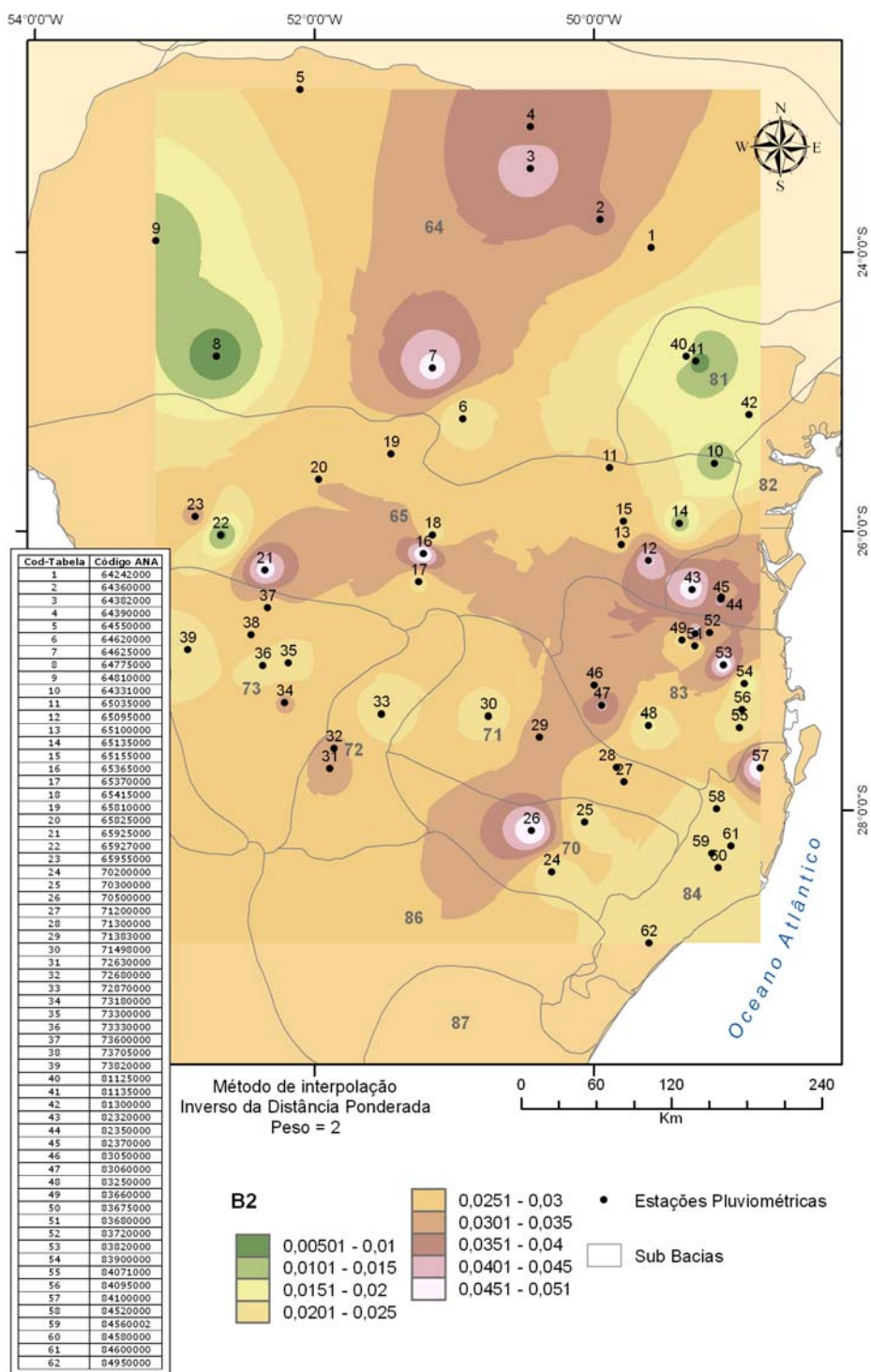


FIGURA 4.11. INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DO PARÂMETRO b_2 PELO MÉTODO IDW (MAPA NO TAMANHO A3 EM ANEXO)



5. ESTUDO DE CASO

Este capítulo relata um estudo de caso do método de regionalização desenvolvido nesta pesquisa, a fim de calcular a energia garantida incremental pelo método de FILL (1989) para uma PCH qualquer, e comparar com o valor da energia assegurada, pelo método da ANEEL (2001).

Para tal, foi escolhida a PCH Paineel, desenvolvida pelas empresas RTK Consultoria Ltda., ETS – Engenharia de Transporte e Saneamento Ltda. e DW Engenharia Ltda., sendo o Projeto Básico desta PCH desenvolvido em 2007, entregue à ANEEL em 2008 e aprovado por este órgão em 2009. Esta PCH foi escolhida pela localização muito próxima à estação fluviométrica Fazenda Mineira (Código ANA 70300000), no rio Lava Tudo, em Santa Catarina. Com isso pode-se comparar os dados de vazões gerados pelo modelo SOSN (WEISS, 1977) através da regionalização dos parâmetros proposta com a série histórica e com a geração sintética pela estimação tradicional dos parâmetros do modelo SOSN (WEISS, 1977).

O capítulo está dividido em 4 itens:

1. Caracterização da PCH Paineel
2. Comparação entre as Séries Geradas e a Histórica
3. Cálculo da Energia Garantida Incremental
4. Discussão dos Resultados

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA PCH PAINEL

A caracterização da PCH Paineel encontra-se na tabela a seguir, onde estão as características mais relevantes, como a energia assegurada (igual a energia média na tabela), e os dados necessários para o cálculo da energia garantida incremental pela fórmula de FILL (1989). Cabe ressaltar que os dados foram retirados do Projeto Básico

da PCH Painei desenvolvido pelas empresas RTK Consultoria Ltda., ETS – Engenharia de Transporte e Saneamento Ltda. e DW Engenharia Ltda (2008).

TABELA 5.1.: CARACTERIZAÇÃO DA PCH PAINEL

Identificação	
Nome do Aproveitamento	PCH Painei
Rio	Lava Tudo
Distância da foz	94 km
Coordenadas Geográficas:	Lat. Sul 28° 06' 46" Long. Oeste 50° 04' 52"
Bacia	Rio Uruguai
Estado	Santa Catarina
Município	Painei e São Joaquim
Fluviometria	
Área da Bacia	1.170 km ²
Estação principal utilizada	Fazenda Mineira – Rio Lava Tudo (1.119 km ²) Período de observação: 1942 a 2005
Hidrograma de vazões naturais	Período 1950 a 2005
Vazão média de longo termo	32,52 m ³ /s
Máxima vazão média mensal (08/1965)	258,2m ³ /s
Mínima vazão média mensal (08/1951)	1,20 m ³ /s
Vazão Sanitária	1,20 m ³ /s
Vazão específica de longo termo	27,80 l/s/km ²
Deflúvio anual médio	1.025 x 10 ⁶ m ³
Níveis de água naturais	- altitude do NA determinado no canal de fuga 940,50 m
Reservatório	
Nível de água máximo normal (N.A. max)	971,00 m
Nível de água mínimo normal (N.A. min)	970,00 m
Depleção	1,00 m
Volume total	12,127 x 10 ⁶ m ³
Volume útil	1,039 x 10 ⁶ m ³
Área inundada (N.A. Max. Normal = 971,00)	106 ha
Parâmetros Energéticos	
Queda bruta máxima (Hb1)	30,50 m

Queda líquida máxima (H1)	30,28 m
Queda líquida média (h2)	29,51 m
Vazão turbinada máxima	36,44 m ³ /s
Vazão turbinada mínima	5,46m ³ /s
Vazão turbinada média	25,75 m ³ /s
Energia firme	6.379 kW médios
Energia média = Energia Assegurada	6.060 kW médios
Fator de capacidade de referência	65,8 %
Potência instalada (P)	9.200 kW
Casa de Força	
Tipo de casa de força	abrigada
Potência instalada	9.200 kW
Tipo de turbina	Kaplan tubular S
Número de unidades	2
Potência da turbina (eixo)	4.718 kW
Velocidade síncrona (n)	360 rpm
Potência de cada gerador	5.111 kVA
Fator de Potência	0,90
Rotação do gerador	360 rpm
Diâmetro do rotor (D3)	1,80 m
Rendimento do grupo turbina-gerador	0,897
Vazão máxima turbinada da unidade geradora	18,22 m3/s
Barragem	
Tipo	Concreto Compactado a Rolo - CCR
Altura máxima	30,0 m
comprimento total	235 m
comprimento correspondente ao vertedouro	135 m
volume	44.300 m ³

5.2. COMPARAÇÃO ENTRE AS SÉRIES GERADAS E A HISTÓRICA

Este item visa verificar se o método de regionalização dos parâmetros do modelo de geração de vazões diárias SOSN (WEISS, 1977) representa bem os parâmetros estimados pelo método tradicional, e se preserva as estatísticas da série histórica.

Os parâmetros calculados pelo método de regionalização proposto e pelo método de estimação tradicional do modelo SOSN encontram-se na tabela 5.2. Vale lembrar que os parâmetros b_1 , θ_1 , θ_2 e v_{12} foram calculados pelas equações 4.1, 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente. O parâmetro b_2 foi retirado da interpolação espacial pelo método IDW, figura 4.12.

TABELA 5.2. - PARÂMETROS DO MODELO SOSN

Parâmetros	Estimação	Regionalização
b_1	0,37	0,31
b_2	0,021	0,021
θ_1	137,16	93,86
θ_2	1,41	8,40
v_{12}	0,066	0,050

TABELA 5.3. - ESTAÇÃO FAZENDA MINEIRA – RIO LAVA TUDO/SC

Estatísticas e Parâmetros dos Modelos	Histórico	SOSN ESTIMAÇÃO	SOSN REGIONALIZAÇÃO
Vazão Média de Longo Termo (m³/s)	28,82	28,99	35,14
Máx.	-	33,30	40,44
Mín.	-	25,55	30,09
Desvio Padrão Diário	55,67	56,63	43,73
Máx.	-	67,04	53,13
Mín.	-	50,74	38,44
Variância Diária	3099,25	3215,94	1918,55
Máx.	-	4493,87	2822,64
Mín.	-	2574,62	1477,38
Assimetria Diária	8,83	4,37	3,90

Máx.	-	5,72	5,17
Mín.	-	3,75	3,26
Curtose Diária	122,88	31,17	26,94
Máx.	-	63,96	58,60
Mín.	-	22,00	17,43
Autocorrelação Diária	0,53	0,80	0,86
Máx.	-	0,81	0,87
Mín.	-	0,78	0,84
Desvio Padrão Mensal	24,72	25,24	25,50
Máx.	-	30,03	33,08
Mín.	-	22,22	22,53
Variância Mensal	611,09	639,73	653,31
Máx.	-	901,97	1094,09
Mín.	-	493,65	507,77
Assimetria Mensal	2,49	1,51	1,47
Máx.	-	2,28	2,35
Mín.	-	1,07	0,96
Curtose Mensal	25,23	5,98	6,04
Máx.	-	11,73	13,06
Mín.	-	3,69	3,38
Autocorrelação Mensal	0,43	0,10	0,36
Máx.	-	0,21	0,49
Mín.	-	-0,01	0,22
Máximo Déficit Acumulado	5595,02	15459,00	12066,85
Médio	-	7000,97	5416,15
Mín.	-	3503,37	1392,42
Mínima Média Móvel de 5 anos	24,25	-	-
Média das Mínimas Médias Móveis de 5 anos	-	22,84	26,57
Mínima Média Móvel de 5 anos	-	17,64	19,37

Pelos resultados encontrados o método de regionalização representa bem a série histórica, até por que a vazão média de longo termo se aproximou da calculada pelas empresas que realizaram o projeto da PCH Painel, onde o valor da vazão média

de longo termo é de 32,52 m³/s. Estas empresas utilizaram a série de 1950 a 2005 para o cálculo desta vazão, através das médias mensais, sendo preenchidas as falhas por correlação entre as estações fluviométricas da bacia do rio Pelotas. O cálculo da vazão média de longo termo pelas vazões diárias, nesta pesquisa, utilizou o maior período com dados diários da série da ANA sem falhas, sendo de 1968 a 1987, por isso a diferença.

Contudo, utilizou-se a série gerada pelos parâmetros obtidos pelo método de regionalização proposto e pelo método tradicional para o cálculo da energia garantida incremental, a fim de comparar os dados obtidos. Cabe ressaltar que as estatísticas de comparação calculadas utilizaram 100 séries de 30 anos.

5.3. CÁLCULO DA ENERGIA GARANTIDA INCREMENTAL

Para o cálculo da energia garantida incremental pelo método de FILL (1989) são necessárias energias médias anuais censuradas pelo engolimento da turbina na escala diária. A fórmula ainda necessita do desvio padrão das energias médias anuais censuradas na escala diária da usina e o coeficiente de correlação entre estas energias e a do sistema.

As vazões médias diárias serão geradas através do modelo SOSN (WEISS, 1977) para estação fluviométrica Fazenda Mineira pelos parâmetros calculados pelo método de regionalização proposto e pelo método tradicional de estimação dos parâmetros, por se tratar de um local com dados. Não será calculado pela série histórica, devido ao grande número de falhas na série de 1931 a 1980.

As energias médias anuais do sistema foram retiradas de NEIRA (2005). É utilizado o período de 1931 a 1980, pois o coeficiente de autocorrelação apresenta problemas do período de 1980 em diante. Este problema é causado por inconsistências na série de energias do sistema, o que é um problema difícil de resolver pela quantidade de usinas do sistema, situadas em 9 bacias hidrográficas distintas. Logo,

um grande estudo de consistência para as afluições é necessário, porém pela falta de tempo e recursos não será investigado nesta dissertação.

A série de energias do sistema de maio de 1931 a abril de 1980 apresenta as seguintes estatísticas (NEIRA, 2005), e bases para fórmula da energia garantida por FILL (1989):

1. Média de Longo Termo = 31.282 MW ano/ano
2. Desvio Padrão = 5.493 MW ano/ano
3. Coeficiente de Assimetria = 0,27
4. Coeficiente de Autocorrelação = 0,33
5. Armazenamento equivalente = 1,20 (valor aproximado por FILL, 2003)
6. $K_1 = 0,915$
7. $K_2 = 1,420$

Esses valores são similares aos usados por vários pesquisadores em estudos anteriores (GOMIDE, 1986; KELMAN, 1987; FILL, 1989 e CEHPAR, 1987).

Os dados a seguir mostram a energia média anual de longo termo, censurada na escala diária, e o desvio padrão dessas energias. Estas estatísticas são oriundas da série de 50 anos gerada pelo modelo SOSN, com parâmetros calculados pelo método de regionalização proposto, para o local da PCH Painel. Para o cálculo da energia média utilizou-se os dados da PCH Painel (vazão máxima e mínima de engolimento da turbina, vazão sanitária, taxa de indisponibilidade, eficiência do conjunto turbina-gerador e queda líquida média, encontrados na tabela 5.1).

1. Energia Média de Longo Termo = 5,37 MW médios
2. Desvio Padrão = 1,17 MW médios
3. Coeficiente de Correlação com o Sistema = 0,03

A tabela a seguir mostra as energia médias anuais da usina e do sistema. O fato do coeficiente de correlação entre as energias médias anuais da usina e do sistema ser

tão baixo se deve pelas energias da usina serem geradas estocasticamente, ou seja, não preservam as variações hidrológicas históricas, porém para região sul são encontrados valores baixos mesmo utilizando a série histórica:

TABELA 5.4. - ENERGIAS MÉDIAS ANUAIS DA USINA E DO SISTEMA

Energia Média Anual (ano hidrológico maio a abril)											
Período	Sistema	Usina	Período	Sistema	Usina	Período	Sistema	Usina	Período	Sistema	Usina
1931	36842	7,34	1946	35969	6,37	1961	33003	3,81	1976	41660	5,04
1932	31618	7,42	1947	34573	5,72	1962	31654	6,11	1977	30971	5,11
1933	22717	4,98	1948	29559	3,13	1963	23493	3,85	1978	32747	4,1
1934	26459	6,17	1949	28010	5,94	1964	34189	6,7	1979	41340	7,23
1935	31547	5,84	1950	33540	5,93	1965	45303	5,44	1980	36266	3,97
1936	29404	5,27	1951	27036	4,1	1966	38919	5,08			
1937	29851	6,57	1952	22747	5,92	1967	29261	6,04			
1938	29792	6,16	1953	23310	4,42	1968	21922	6,19			
1939	31934	3,43	1954	24217	5,51	1969	29945	4,93			
1940	25202	6,67	1955	23830	4,95	1970	24969	5,86			
1941	31261	4,32	1956	33905	6,85	1971	30874	5,48			
1942	33847	7,08	1957	36943	3,39	1972	38586	2,99			
1943	27355	5,27	1958	32116	6,36	1973	38853	6,65			
1944	24762	6,03	1959	27463	6,73	1974	29063	6,67			
1945	35709	7,07	1960	37901	5,02	1975	31673	5,81			

Com todos dados disponíveis a Energia Garantida Incremental pelo método de FILL (1989) fica:

$$\Delta E_g = K_1 \bar{E}_u - K_2 \rho_{us} \sigma_u = 0,915 * 5,37 - 1,42 * 0,03 * 1,23 = 4,86 MW_{\text{médio}} \quad (5.1)$$

Os dados a seguir mostram a energia média anual de longo termo, censurada na escala diária, e o desvio padrão dessas energias. Estas estatísticas são oriundas da série de 50 anos gerada pelo modelo SOSN, com parâmetros estimados pelo método tradicional, para o local da PCH Painel. Para o cálculo da energia média utilizou-se os dados da PCH Painel (vazão máxima e mínima de engolimento da turbina, vazão

sanitária, taxa de indisponibilidade, eficiência do conjunto turbina-gerador e queda líquida média, encontrados na tabela 5.1).

1. Energia Média de Longo Termo = 3,37 MW médios
2. Desvio Padrão = 0,64 MW médios
3. Coeficiente de Correlação com o Sistema = 0,09

A tabela a seguir mostra as energia médias anuais da usina e do sistema.

TABELA 5.5. - ENERGIAS MÉDIAS ANUAIS DA USINA E DO SISTEMA

Energia Média Anual (ano hidrológico maio a abril)											
Período	Sistema	Usina	Período	Sistema	Usina	Período	Sistema	Usina	Período	Sistema	Usina
1931	36842	3,90	1946	35969	3,18	1961	33003	3,15	1976	41660	2,85
1932	31618	4,19	1947	34573	3,18	1962	31654	3,03	1977	30971	4,24
1933	22717	2,95	1948	29559	3,00	1963	23493	4,03	1978	32747	3,54
1934	26459	3,15	1949	28010	4,08	1964	34189	3,60	1979	41340	3,45
1935	31547	3,11	1950	33540	2,41	1965	45303	3,18	1980	36266	2,54
1936	29404	4,05	1951	27036	3,40	1966	38919	4,75			
1937	29851	4,54	1952	22747	2,28	1967	29261	3,43			
1938	29792	3,58	1953	23310	3,03	1968	21922	2,28			
1939	31934	3,12	1954	24217	2,95	1969	29945	4,09			
1940	25202	3,70	1955	23830	4,45	1970	24969	3,17			
1941	31261	4,11	1956	33905	2,95	1971	30874	2,89			
1942	33847	3,54	1957	36943	3,44	1972	38586	4,65			
1943	27355	2,87	1958	32116	4,93	1973	38853	3,57			
1944	24762	4,39	1959	27463	3,04	1974	29063	3,53			
1945	35709	2,77	1960	37901	3,59	1975	31673	3,64			

Com todos dados disponíveis a Energia Garantida Incremental pelo método de FILL (1989) fica:

$$\Delta E_g = K_1 \bar{E}_u - K_2 \rho_{us} \sigma_u = 0,915 * 3,37 - 1,42 * 0,09 * 0,64 = 3,00 MW \text{ médio} \quad (5.2)$$

Ainda, para verificação deste método foi realizado o cálculo da energia média no período crítico do sistema, que, para o sistema integrado sul-sudeste apenas, é de maio de 1952 a novembro de 1956, utilizando os mesmos dados da PCH Painei. A energia média calculada para o período crítico de maio de 1952 a novembro de 1956 é de 3,83 MW médio, para uma vazão média de 28,20 m³/s.

5.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para melhor esclarecer a discussão dos resultados a tabela a seguir mostra os valores de energia calculados.

TABELA 5.6. - VALORES DAS ENERGIAS CALCULADAS

Tipo de Energia	QMLT (m ³ /s)	Energia em MWmédio
Energia Assegurada Método da ANEEL (2001)	32,52	6,06
Energia Garantida Incremental Método de FILL (1989) - Regionalização	35,14	4,86
Energia Garantida Incremental Método de FILL (1989) – Estimação Tradicional	28,99	3,00
Energia Média no período crítico Maio/1952 a novembro/1956	28,02	3,83

Cabe ressaltar que foram utilizados os seguintes dados para o cálculo dessas energias.

TABELA 5.7. - DADOS PARA CÁLCULO DAS ENERGIAS

Parâmetros	Valor
Vazão Máxima Turbinada	36,44 m ³ /s
Vazão mínima Turbinada	5,46 m ³ /s
Vazão Sanitária	1,20 m ³ /s
Rendimento Turbina-Gerador	0,897
Taxa de Indisponibilidade	0,97
Queda Líquida Média	29,51 m

Percebe-se que pelo método de FILL (1989), para o cálculo da energia garantida incremental, foi encontrada uma diferença de 20%, para a energia assegurada calculada pelo método da ANEEL, utilizando o método de regionalização proposto para estimação dos parâmetros do modelo SOSN. Já para a estimação tradicional dos parâmetros esta diferença foi de 50%.

A energia média gerada no período crítico do sistema tende a se aproximar da energia garantida incremental calculada por FILL (1989), como descrito por FILL, CELLA, MINE, KAVISKI & FREITAS (2005), por isso foi realizado seu cálculo. Neste estudo, a energia média no período crítico divergiu da energia garantida incremental calculada pelo método de FILL (1989), tanto para as séries geradas pelo método proposto para regionalização dos parâmetros, como para as séries geradas pela estimação dos parâmetros pelo método de tradicional de WEISS (1977).

A energia garantida incremental, calculada através das séries sintéticas de vazões médias diárias, com a estimação dos parâmetros do modelo SOSN (WEISS, 1977), realizada pelo método de regionalização proposto, foi superestimada em relação a energia média no período crítico do sistema, devido aos problemas da regionalização. Para a estimação tradicional, a energia garantida incremental, por FILL (1989), foi subestimada, devido ao parâmetro de recessão b_1 ser mais rápido do que o estimado pela regionalização, pelo parâmetro θ_2 ser bem baixo, não “segurando” as recessões, e por se ter uma média de longo termo menor para o período de vazões diárias consistido utilizado do que a média dos últimos 30 anos das vazões médias mensais.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta dissertação teve por objetivo propor um modelo para geração de séries sintéticas de vazões diárias bem como a regionalização dos seus parâmetros para a região Sul do Brasil. Essas vazões após serem censuradas no valor da vazão de engolimento máximo de uma usina hidrelétrica permitem determinar os dados de entrada necessários a aplicação da fórmula proposta por FILL (1989) para estimar a energia garantida incremental de uma usina hidrelétrica a fio de água operando integrada em um sistema hidrotérmico de grande porte. Essa fórmula se aplica particularmente bem ao caso de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH), operando integrada ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Entre os modelos de geração de vazões diárias, disponíveis na literatura, foram analisados nesta dissertação o modelo DIANA (Kelman, 1981) e o "Second Order Shot-Noise model" (SOSN) desenvolvido por WEISS (1977). Foi proposto o SOSN por se adaptar melhor as características hidrológicas de estações fluviométricas da região Sul com áreas de drenagem inferior a 5000 km².

Para a regionalização dos cinco parâmetros deste modelo foram analisados métodos baseados em regressão múltipla bem como métodos geoestatísticos de interpolação espacial. Para quatro parâmetros adotaram-se regressões múltiplas log-lineares usando como variáveis explicativas a área de drenagem, a declividade média do talvegue, chuva média anual de longo período, média dos dias consecutivos sem chuva e localização. Para um parâmetro obteve-se melhor resultado mediante interpolação pelo inverso ponderado da distância. Entretanto os erros associados às estimativas regionais ainda se apresentaram significativos o que indica que se deve, em pesquisas futuras, buscar melhorias nesse aspecto.

Também não se considerou neste estudo a correlação espacial das afluições nos locais das usinas com as do SIN. No caso específico da região Sul, objeto desta

dissertação, tal simplificação não acarreta erros significativos nos resultados, pois se sabe que neste caso essas correlações são bastante pequenas.

Adotou-se ainda para a estimativa dos coeficientes da fórmula de Fill os valores propostos no trabalho original (Fill, 1989) e que correspondem a coeficientes de assimetria e de autocorrelação das afluições médias anuais ao sistema iguais a 0,3 e 0,25 respectivamente. Estes valores são coerentes com os da série de afluições ao SIN no período de 1931 a 1980. Desprezou-se a parte mais recente dessa série por problemas de inconsistência principalmente no coeficiente de autocorrelação e apontados por NEIRA (2005).

Apesar dessas questões, que deverão ser melhor abordadas em pesquisas futuras, a presente dissertação cumpriu o seu objetivo maior ao (1) mostrar a impropriedade do método proposto pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para definir a energia assegurada de uma PCH e (2) que um método alternativo baseado na teoria estocástica dos reservatórios é viável. Acredita-se que os procedimentos apresentados nesta dissertação permitem indicar um caminho para uma solução racional do problema da avaliação correta da contribuição energética de uma PCH. Os maiores entraves ainda resultam de problemas nos métodos de regionalização de parâmetros hidrológicos, onde se deve achar um compromisso entre precisão e parcimônia de variáveis explicativas.

Para estudos futuros, dentro de uma continuidade da linha de pesquisa que busca desenvolver métodos para determinar a energia garantida de uma PCH é preciso se concentrar em três questões básicas que despontaram ao longo do desenvolvimento desta dissertação:

- i) Desenvolver modelos de geração bivariados que preservem o coeficiente de correlação espacial das médias anuais das afluições a PCH e ao SIN. Isso é especialmente importante para as PCH situadas na região Sudeste do Brasil onde essa correlação é particularmente importante, fazendo com que a energia garantida da PCH seja significativamente reduzida.

ii) Buscar modelos de regionalização que consigam representar melhor a distribuição espacial dos parâmetros do modelo e sua dependência de características fisiográficas da bacia. Esses modelos deverão se basear em uma combinação de métodos geoestatísticos e técnicas de regressão para cada um dos parâmetros analisados.

iii) Analisar as razões que produziram uma variação grande do coeficiente de autocorrelação da série de aflúências ao SIN a partir da década de 1980. A partir daí pode-se então definir uma estimativa mais segura desse coeficiente. Também se deve recalcular os coeficientes da fórmula de Fill para essas estimativas revistas do coeficiente de autocorrelação e de assimetria.

Finalmente cumpre destacar que, como consequência da forte expansão da potência instalada em PCH, o que acarreta um peso maior dessa fonte na matriz energética brasileira, métodos mais precisos e sem viés positivo serão necessários para estimar a contribuição energética das PCHs, para evitar crises de abastecimento no setor elétrico resultantes da incorreta avaliação do risco de déficit.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 169 de 3 de dezembro de 2001. Estabelece critérios para utilização do Mecanismo de Realocação de Energia – MRE por centrais não despachadas centralizadamente. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 4 mai. 2001. SEC. 1, p. 104, v. 139, n. 86-E.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 652 de 9 de dezembro de 2003. Estabelece critérios para enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 10 dez. 2003. SEC. 1, p. 90, v. 140, n. 240.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução n. 62 de 5 de maio de 2004. Estabelece os procedimentos para o cálculo do montante correspondente à energia de referência de empreendimento de geração de energia elétrica, para fins de participação no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, nos termos do Decreto no 5.025, de 30 de março de 2004, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 6 mai. 2004. SEC. 1, p. 69, v. 141, n. 86.

BARBOSA, P. R. D. J. **Modelagem estocástica de vazões diárias**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1981. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BICCA, F. J.; **Estimativa de parâmetros estatísticos de vazões médias anuais em nível diário no contexto de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

BRASIL. CGSE – Câmara de Gestão do Setor Elétrico (2002). **Propostas de metodologia de cálculo de energia assegurada de usinas hidrelétricas e para o mecanismo de realocação de energia – MRE**. Proposta da ANA. Brasília, 11 de jun. 2002.

CANAMBRA ENGINEERING CONSULTANTS. **Power study of south Brazil**. Appendix XVII. Curitiba, 1969.

CEHPAR – Centro de Hidráulica Prof. Parigot de Souza (1987). **Projeto HG-60 – Consultoria em estudos energéticos e PCH**. Curitiba, 1987.

ETS, Engenharia de Transporte e Saneamento Ltda.; DW Engenharia Ltda.; RTK Consultoria Ltda. **Projeto Básico da PCH Painei**. Entregue a ANEEL, janeiro, 2008.

FILL, H. D.; MINE; M. R. M. **Análise da Variabilidade do Risco Associado ao Critério da Energia Firme em um Sistema Hidrelétrico**. Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, v. 3, n. 1, p. 5-15, 1985.

FILL, H. D.; KRUGER, C. M. **Valor assintótico da soma de energias garantidas incrementais das usinas de um sistema hidrelétrico integrado**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (8.: 1989 : Foz do Iguaçu) Anais. São Paulo. ABRH, 1989. v. 1, p. 172 -182.

FILL, H. D. **Avaliação analítica da energia garantida incremental de uma usina hidrelétrica**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (8.: 1989 : Foz do Iguaçu) Anais. São Paulo. ABRH, 1989. v. 1, p. 122 -129.

FILL, H. D.; CHELLA, M. R.; MINE; M. R. M.; KAVISKI, E.; FREITAS, C.. **Metodologia para avaliação da contribuição energética de Pequenas Centrais Hidrelétricas a fio d'água – relatório final**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. Curitiba, 2003

FILL, H. D.; CHELLA, M. R.; MINE; M. R. M.; KAVISKI, E.; FREITAS, C.. **Avaliação de dois critérios de cálculo da energia assegurada de uma PCH**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2005.

GOMIDE, F. L. S. **Range and deficit analysis using markov chains**. Hydrology Papers, n. 79, Colorado State University, Fort Collins.

GOMIDE, F. L. S.; CUNHA, L. M. **Dimensionamento de reservatórios para regularização de vazões**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (4. : 1981 : Fortaleza) Anais. São Paulo : ABRH, 1981. v. 4, p. 551-568.

GOMIDE, F. L. S. **Teoria Estocástica dos Reservatórios Aplicada ao Planejamento de Sistemas Hidrelétricos**. Curitiba: UFPR, 1986. Tese (Titular) – UFPR.

GREENE, W. W. **Econometric analysis**. New York University: Ed. Prentice Hall, New Hersey, 5th edition, 2002.

JOHNSON, N.; KOTZ, S. Distributions in statistics: **Continuous Univariate Distributions**. New York: J. Wiley & Sons, 1970.

JOHNSTON, K., VER HOEF, J., M., KRIVORUCHKO, K., LUCAS, N. **Using ArcGIS Geostatistical Analyst**. ESRI, Redlands, 2001.

KELMAN, G.; DAMÁZIO, J. M. ; COSTA, J. P. **Geração de Séries Sintéticas de Vazões Diárias Modelo Diana**. Revista Brasileira de Engenharia, vol. 1, n. 2, 1983.

KELMAN, G. **Modelos estocásticos para gerenciamento de recursos hídricos**. In: Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987, cap. 4.

KITANIDIS, 1993. **Introduction to Geostatistics**. Cambridge University, 1993.

LOUCKS, D. P. **Water resource systems planning and analysis**. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.

MINE, M. R. M. **Geração de Vazões Médias Diárias Pelo SOSN**. Revista Brasileira de Engenharia, vol. 8, n. 1, p. 51-64, 1990.

MULLER, F. **Geração univariada de vazões diárias por métodos diretos**. Curitiba, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

NAGAYAMA, M. U. **Parâmetros Anuais de Afluências Censuradas na Escala Diária, Utilizadas no Cálculo da Energia Garantida de Pequenas Centrais Hidrelétricas Integradas.** Curitiba, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

NEIRA, K. L. **Curvas de regularização para reservatórios parcialmente cheios e confiabilidade constante.** Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

PARZEN, E. **Stochastic processes.** San Francisco: Holden-Day, 1964.

REIGER, M. A.; HARRIDAN, M. A. **Correlation in a bivariate normal distribution with truncation in both variables.** Australian Journal of Statistics, vol. 13, n. 2, p. 77-82, 1971.

SPIEGEL, M. R. **Estatística.** Tradução de P. Consentino. Mc Graw Hill do Brasil. Rio de Janeiro, 1971.

TUCCI, C. E. M. **Geração de energia de uma PCH.** <http://blog.rhama.net>, abril, 2008. pesquisado em 15/01/2010.

TODOROVIC, P.; WOOLHISER, D. A. **A stochastic model of n-day precipitation.** Journal of Applied Meteorology, 14, 1975.

WEISS, Gideon. **Shot Noise Models for the Generation of Synthetic Streamflow Data.** Water Resources Research, vol. 13, n. 1, fevereiro, 1977.

YAMAMOTO, J., K. **Geoestatística On-line. Instituto de Geociências da USP.** Contém informações específicas, publicações, conceitos e aplicações práticas. Disponível em: <<http://www.igc.usp.br>>. Acesso em: 29 mar. 2004.

YEVJEVICH, V. **Structure of daily hydrologic series.** Littleton: Water Resources Publ., 1984.

ANEXOS

ANEXO 1 – SÉRIES DE ENERGIA DO SISTEMA DE 1931 A 1980

ANEXO 2 – PROGRAMA EM FORTRAN VAZDIARIO

ANEXO 3 – PROGRAMA EM FORTRAN SOSN1

ANEXO 4 – PROGRAMA EM FORTRAN SOSN2

ANEXO 5 – PROGRMA EM FORTRAN DIANA1

ANEXO 6 – PROGRAMA EM FORTRAN DIANA2

ANEXO 7 – PROGRAMA EM FORTRAN REGMULT

ANEXO 8 – PROGRAMA EM FORTRAN EMED

ANEXO 9 – PROGRAMA EM FORTRAN EGI

ANEXO 10 – PROGRAMA EM FORTRAN CHUVAS

ANEXO 11 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO

ANEXO 12 – MAPA DE GEOLOGIA

ANEXO 13 – MAPA DE KRIGING PARA O PARÂMETRO B2

ANEXO 14 – MAPA DE IDW PARA O PARÂMETRO B2

ANEXO 1 – SÉRIES DE ENERGIA DO SISTEMA DE 1931 A 1980

SISTEMA SUL-SUDESTE

ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Maio a abril
31	53.650,0	76.619,8	75.450,0	55.195,6	46.983,4	38.714,8	30.324,6	21.164,8	28.732,5	25.154,3	22.843,6	35.471,4	36.842,4
32	44.951,1	56.402,5	47.928,8	43.437,2	31.749,0	30.347,7	23.133,2	18.787,0	19.945,4	26.585,4	24.122,2	46.506,8	31.618,3
33	53.052,5	43.101,3	34.178,9	27.910,4	21.452,1	16.964,6	15.187,4	13.892,8	14.302,4	19.562,0	16.360,0	26.753,1	22.716,6
34	38.216,4	33.433,9	30.744,3	25.730,5	19.136,4	14.480,8	12.183,8	10.559,3	11.846,1	14.868,2	11.570,1	29.873,5	26.459,0
35	44.602,9	58.078,1	47.547,4	42.761,1	28.218,7	24.448,4	21.516,1	24.891,1	26.230,9	54.874,8	28.522,8	30.715,1	31.547,3
36	38.289,4	24.249,0	46.033,8	30.578,0	23.181,6	30.779,0	16.968,2	21.239,9	22.636,6	20.355,9	19.764,0	30.934,8	29.404,0
37	58.295,3	39.246,2	36.263,8	33.182,6	25.904,2	21.758,4	16.590,5	15.685,9	14.215,7	25.920,1	37.420,5	45.446,2	29.851,5
38	48.045,0	43.657,8	35.147,6	28.425,6	29.481,3	30.294,7	31.130,3	18.155,3	15.962,4	18.219,8	22.168,8	34.281,2	29.792,3
39	48.645,9	49.882,9	32.364,6	26.920,1	26.423,4	21.717,4	18.183,1	13.881,7	15.145,7	14.137,4	28.695,5	44.553,0	31.933,5
40	49.956,4	61.986,5	54.618,9	33.903,2	28.384,2	20.240,2	16.700,6	14.496,3	12.068,6	14.376,8	25.357,6	29.530,8	25.201,9
41	43.385,8	38.175,5	29.793,1	29.913,7	23.222,9	19.860,4	17.203,5	22.693,0	19.727,2	23.124,3	28.114,8	38.932,3	31.260,6
42	36.523,5	45.523,8	56.989,6	43.212,2	31.229,7	31.056,2	25.669,4	18.501,5	16.861,3	19.084,7	21.180,9	31.237,6	33.847,1
43	61.884,6	60.587,9	55.645,3	33.226,5	22.578,5	25.240,2	19.281,1	19.213,4	17.398,0	23.891,8	27.997,2	29.578,2	27.355,1
44	30.376,3	38.324,7	46.653,2	27.728,0	19.123,5	15.176,4	12.733,6	10.141,7	9.902,8	9.926,3	19.634,0	21.954,5	24.762,0
45	26.754,5	55.348,5	50.204,5	46.243,8	26.307,4	21.514,8	25.475,3	15.082,2	12.502,4	15.454,1	22.727,4	45.453,3	35.709,4
46	69.755,8	64.118,5	68.303,1	41.818,4	28.589,8	27.559,5	32.761,9	19.377,8	16.078,9	23.417,6	22.456,1	28.474,8	35.969,0
47	45.844,9	56.201,9	80.973,5	49.891,6	31.041,1	27.295,9	23.179,0	22.211,1	31.000,4	30.327,5	22.904,6	37.900,5	34.572,7
48	46.419,6	51.903,4	53.293,6	37.395,4	26.257,5	22.448,6	18.064,4	23.960,9	14.766,8	17.049,5	23.013,7	33.453,2	29.558,8
49	39.337,5	59.296,9	44.553,4	32.502,8	24.582,5	22.519,9	16.532,5	13.729,7	13.337,7	14.484,7	15.959,9	26.898,9	28.009,9
50	37.828,2	60.056,5	53.763,9	36.424,6	26.279,0	19.618,6	17.022,7	14.004,8	12.050,6	25.688,2	28.183,5	40.165,6	33.539,9
51	48.861,3	65.684,5	63.188,2	41.732,1	24.186,0	20.127,7	17.471,7	13.785,8	11.745,2	20.558,3	20.382,3	24.687,8	27.035,7
52	27.871,4	43.337,9	64.989,5	35.284,7	20.904,5	22.825,9	18.478,7	13.116,4	17.663,1	24.172,8	27.293,9	23.466,5	22.747,2
53	22.964,0	23.734,3	27.193,7	31.153,1	19.365,3	17.537,1	13.382,3	11.025,1	17.321,5	24.786,5	28.418,2	29.820,9	23.310,3
54	29.175,1	38.414,9	28.198,3	22.278,0	38.116,9	32.384,9	23.579,5	13.587,5	17.494,4	22.919,0	16.254,8	20.723,9	24.217,1
55	29.954,7	23.528,0	24.840,3	27.220,7	21.107,0	29.237,8	28.864,7	15.896,4	15.438,6	12.473,1	16.881,1	28.526,1	23.829,8

56	33.958,2	23.914,4	32.015,2	27.645,2	32.937,6	32.614,4	21.924,7	27.377,4	20.377,1	16.196,8	19.194,0	32.584,5	33.905,1
57	47.250,8	55.933,7	52.384,0	48.085,9	30.742,4	25.313,7	38.056,7	44.664,3	50.614,7	28.440,7	29.930,0	37.297,8	36.942,9
58	33.327,1	48.594,3	42.773,5	33.559,2	27.706,9	27.949,2	21.438,8	19.815,5	26.928,4	24.510,1	26.536,7	30.028,0	32.116,4
59	51.458,0	46.722,0	44.914,0	37.389,1	25.188,2	21.632,0	16.542,1	16.466,7	16.089,7	15.646,6	19.650,3	23.482,5	27.462,8
60	38.840,4	49.405,2	52.001,7	34.608,4	26.764,2	23.193,5	19.094,7	22.276,2	19.457,5	20.875,2	29.846,5	38.193,0	37.901,3
61	63.534,2	66.228,1	76.711,7	48.641,0	38.179,3	28.580,6	21.351,9	16.324,4	23.106,9	23.855,7	29.996,0	26.789,4	33.003,3
62	43.604,1	55.496,9	56.340,5	32.413,3	24.125,4	21.437,8	16.943,8	14.463,2	18.702,8	30.007,3	26.178,5	46.210,5	31.653,8
63	60.553,7	55.961,8	39.104,1	26.156,1	18.722,7	15.751,4	13.209,0	12.751,2	12.155,9	22.673,6	30.176,2	18.421,1	23.493,4
64	30.088,7	51.285,6	31.755,7	24.930,2	21.932,9	17.387,6	17.291,0	17.770,0	16.818,5	19.591,1	21.623,6	34.952,1	34.189,4
65	55.066,4	70.278,0	72.985,7	44.576,3	47.646,6	29.209,6	33.286,5	27.416,5	23.607,1	37.867,4	34.329,7	52.930,3	45.303,0
66	69.728,3	76.277,7	69.240,5	42.095,7	30.831,0	26.640,6	23.399,2	19.061,3	22.666,2	28.749,5	37.977,3	45.030,6	38.919,0
67	62.934,5	68.859,6	62.570,0	38.307,6	25.785,2	25.993,0	21.405,5	18.764,1	20.767,2	17.369,4	26.077,1	39.999,0	29.260,9
68	47.308,2	40.454,6	41.095,0	26.112,8	19.904,7	15.953,8	14.401,4	12.903,9	13.071,3	15.635,2	18.508,0	33.245,3	21.921,7
69	31.782,8	32.876,3	28.630,4	26.146,7	18.528,7	25.037,9	17.546,5	11.957,5	11.149,1	22.468,0	41.435,6	35.093,3	29.944,7
70	48.650,3	49.870,1	49.224,7	28.374,3	23.854,8	25.500,2	26.996,6	15.464,2	20.418,0	24.746,1	21.595,9	26.833,3	24.969,1
71	40.836,4	22.981,8	27.307,2	23.094,7	24.399,6	29.128,0	24.793,8	17.118,5	14.455,0	20.373,4	19.930,7	39.245,8	30.873,8
72	38.223,7	58.682,4	49.806,6	34.327,5	21.222,3	23.098,9	25.478,3	29.095,7	33.894,6	49.913,5	44.923,9	45.317,2	38.586,4
73	52.176,3	52.679,3	42.626,8	42.609,7	35.338,6	29.768,7	30.741,0	26.797,1	31.094,4	32.158,5	33.168,2	39.807,3	38.852,8
74	59.667,0	42.680,1	57.030,6	47.982,5	29.654,5	30.320,7	23.904,2	19.290,3	19.071,9	19.549,9	20.542,5	35.341,8	29.063,1
75	46.037,1	44.198,9	32.123,6	28.721,2	20.402,6	17.713,9	17.461,9	18.084,3	18.673,8	32.655,6	34.584,4	49.959,3	31.673,2
76	42.780,0	46.909,0	45.544,5	35.308,8	29.269,0	37.663,5	27.756,6	32.471,4	33.527,1	30.765,7	41.213,8	56.665,7	41.660,0
77	67.648,0	63.814,3	38.062,3	41.063,1	24.871,2	24.432,5	20.111,6	19.631,8	20.219,8	21.725,6	30.310,8	47.447,4	30.971,4
78	56.870,6	37.659,9	41.213,4	27.161,7	22.771,8	23.066,1	23.908,6	18.136,8	20.975,8	17.713,9	31.437,8	40.732,4	32.746,7
79	51.195,0	66.165,9	44.740,7	32.115,6	38.325,9	23.513,8	22.296,4	22.144,4	29.992,4	34.872,4	40.760,8	47.205,4	41.340,3
80	65.048,6	72.001,0	54.920,7	45.001,3	31.810,6	26.331,0	28.027,3	26.008,5	30.251,7	24.631,4	29.710,8	53.362,7	36.266,1
81	69.267,8	45.430,1	37.015,2	33.346,3	24.371,5	22.798,9	17.043,8	15.462,2	13.870,6	27.848,6	42.573,4	62.250,8	

ANEXO 2 – PROGRAMA EM FORTRAN VAZDIARIO

```

C
C *****
C      PROGRAMA ESTATÍSTICA DE VAZÕES MÉDIAS MENSIS E DIÁRIAS
C *****
C
C      - DESENVOLVIDO E PROGRAMADO POR RODRIGO KERN
C      - AGOSTO 2009
C
C      OBJETIVOS:
C
C      1. CALCULAR AS ESTATÍSTICAS DA SÉRIE HISTÓRICA PARA GERAÇÃO
ESTOCASTICA NOS MODELOS DIANA E SOSN
C      2. CALCULA ESTATÍSTICAS MENSIS E DIÁRIAS - MÉDIA DE LONGO TERMO,
DP, VAR. E AUTO-CORRELAÇÃO
C      3. CALCULA MÁXIMO DÉFICIT ACUMULADO E SUAS ESTATÍSTICAS - MÉDIA, DP
E VAR.
C
C ***** PROGRAMA PRINCIPAL *****
C
C      DIMENSION Q(500,31),QM(500),QD(20000),M(12),DEF(11000),QMAX(30),QM
*IN(30),KJK(11000),QMMAX(30),QMMIN(30),QAMS(30),QMM(26),FX(365),TR
*(365)
C      REAL MEDREC
C      CHARACTER arq*12
C      DATA M/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
C      WRITE(*,*) 'LER O NOME DO ARQUIVO DE DADOS'
C      READ(*,*) arq
C      OPEN(3,file=arq,status='old')
C      OPEN(4,file='resultado',status='old')
C
C      LE AS VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS DA SÉRIE HISTÓRICA
C
C      II=0
C      K=0
C      READ(3,01) IANOI,IANOF
01  FORMAT(2I5)
C      NA=(IANOF-IANOI)+1
C      NMES=NA*12
C      DO 20 I=IANOI,IANOF
C      IF((I/4)*4-I) 04,05,04
04  M(2)=28
C      GO TO 06
05  M(2)=29
06  DO 15 J=1,12
C      MES=M(J)
C      K=K+1
C      QM(K)=0.0
C      READ(3,07) (Q(K,L),L=1,MES)
07  FORMAT(31X,31F8.0)
C      DO 10 L=1,MES
C      II=II+1
C      QD(II)=Q(K,L)
C      QM(K)=QM(K)+Q(K,L)
10  CONTINUE
C      QM(K)=QM(K)/MES
15  CONTINUE
20  CONTINUE
C      NDIAS=II
C
C      CALCULA MÉDIA DE LONGO TERMO E ESTATÍSTICAS MENSIS

```

C

```
SSQM=0.0
QMED=0.0
QMEDM1=0.0
QMEDM2=0.0
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
SOMA3=0.0
DO 30 K=1,NMES
QMED=QMED+QM(K)
30 CONTINUE
QMED=QMED/NMES
DO 31 K=2,NMES
QMEDM1=QMEDM1+QM(K)
31 CONTINUE
QMEDM1=QMEDM1/(NMES-1)
TEMPOMES=NMES-1
DO 32 K=1,TEMPOMES
QMEDM2=QMEDM2+QM(K)
32 CONTINUE
QMEDM2=QMEDM2/(NMES-1)
DO 40 K=1,NMES
SSQM=SSQM+(QM(K)-QMED)**2
IF(K.LT.2) GO TO 40
SOMA1=SOMA1+((QM(K)-QMEDM2)*(QM(K-1)-QMEDM1))
SOMA2=SOMA2+((QM(K)-QMEDM2)**2)
SOMA3=SOMA3+((QM(K-1)-QMEDM1)**2)
40 CONTINUE
VARM=SSQM/(NMES-1)
DPM=SQRT(VARM)
AUTOM=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
```

C

C

C

CALCULA ESTATISTICAS DIARIAS

```
SSQD=0.0
QMEDD1=0.0
QMEDD2=0.0
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
SOMA3=0.0
DO 50 I=2,NDIAS
QMEDD1=QMEDD1+QD(I)
50 CONTINUE
QMEDD1=QMEDD1/(NDIAS-1)
TEMPODIA=NDIAS-1
DO 51 I=1,TEMPODIA
QMEDD2=QMEDD2+QD(I)
51 CONTINUE
QMEDD2=QMEDD2/(NDIAS-1)
DO 60 I=1,NDIAS
SSQD=SSQD+(QD(I)-QMED)**2
IF(I.LT.2) GO TO 60
SOMA1=SOMA1+((QD(I)-QMEDD2)*(QD(I-1)-QMEDD1))
SOMA2=SOMA2+((QD(I)-QMEDD2)**2)
SOMA3=SOMA3+((QD(I-1)-QMEDD1)**2)
60 CONTINUE
VARD=SSQD/(NDIAS-1)
DPD=SQRT(VARD)
AUTOD=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
```

C

C

CALCULO DO MAXIMO DEFICIT ACUMULADO DA SERIE HISTORICA

```

C      DEF(1)=0.0
      DO 70 IJ=1,NDIAS
      DEF(IJ+1)=DEF(IJ)-QD(IJ)+(0.8*QMED)
      IF(DEF(IJ+1).LT.0.0) GO TO 71
      GO TO 70
71 DEF(IJ+1)=0.0
70 CONTINUE

C
C      ESTATISTICAS DO MAX. DEF. ACUMULADO - MEDIA, DP E VAR.
C
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      DEFMAX=0.0
      DO 80 I=1,NDIAS
      SOMA1=SOMA1+DEF(I)
      IF(DEFMAX.LT.DEF(I)) GO TO 81
      GO TO 80
81 DEFMAX=DEF(I)
80 CONTINUE
      DEFMED=SOMA1/NDIAS
      DO 90 J=1,NDIAS
      SOMA2=SOMA2+((DEF(J)-DEFMED)**2)
90 CONTINUE
      VARDEF=SOMA2/(NDIAS-1)
      DPDEF=SQRT(VARDEF)

C
C      ESCRIVE SAIDA DO PROGRAMA 1
C
      WRITE(4,200)QMED,DPM,VARM,AUTOM,DPD,VARD,AUTOD,DEFMAX,DEFMED,VARDE
      *F,DPDEF
200 FORMAT('QMED =',F8.3/,'DPM =',F8.3/,'VARM =',F10.3/,'AUTOM =',F8.3/
      *,'DPD =',F8.3/,'VARD =',F10.3/,'AUTOD =',F8.3/,'DEFMAX =',F15.3/,'DE
      *FMED =',F8.3/,'VARDEF =',F15.3/,'DPDEF =',F15.3/)

C
C      CALCULO DOS DIAS DE RECESSAO
C
      JKJ=0
      II=1
      KJK(1)=0
      DO 95 I=1,NDIAS
      IF(QD(I+1).GT.QD(I)) GO TO 96
      JKJ=JKJ+1
      KJK(II)=JKJ
      GO TO 95
96 JKJ=0
      II=II+1
      KJK(II)=0
95 CONTINUE
      KJKMAX=0
      SOMA=0.0
      SOMA2=0.0
      III=0
      DO 97 J=1,II
      SOMA2=SOMA2+(KJK(J)-1.0)
      SOMA=SOMA+KJK(J)
      IF(KJK(J).EQ.0) GO TO 98
      III=III+1
98 IF(KJK(J).LE.KJKMAX) GO TO 97
      KJKMAX=KJK(J)
97 CONTINUE

```

```

MEDREC=(SOMA*1.0)/(III*1.0)
WRITE(4,201) KJKMAX,MEDREC
201 FORMAT('RECDIAMAX = ',I8,' MEDREC = ',F10.2)
C
C   CALCULA CURVA DE FREQUENCIA DAS RECESSOES COM (A=AEXP E B=0) MÉTODO
DA MAX VEROSSIMILHANCA
C
AEXP=(SOMA2*1.0)/(III*1.0)
DO 898 I=1,365
XEXP=I*1.0
FX(I)=1.0-(EXP(-(XEXP-1.0)/AEXP))
TR(I)=EXP((XEXP-1.0)/AEXP)
WRITE(4,899) FX(I),TR(I),I,AEXP,SOMA2
899 FORMAT('F(X) = ',F10.8,' TR(X) = ',F18.1,' I = ',I10,' AEXP = 'F10.
*3,' SOMA2 = ',F10.3)
898 CONTINUE
C
C   ESTUDO DAS VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS MÉDIAS DIÁRIAS ANUAIS DA SÉRIE
HISTÓRICA
C
KKI=1
KKF=365
JJI=0
JJII=0
DO 100 JJ=IANOI,IANOF
JJI=JJI+1
JJII=JJII+1
QMAX(JJI)=0.0
QMIN(JJI)=100000000.0
IF(JJI.EQ.1) GO TO 101
IF(JJII.EQ.4) GO TO 103
KKI=KKF+1
KKF=KKI-1+365
GO TO 101
103 KKI=KKF+1
KKF=KKI-1+366
JJII=0
101 DO 110 K=KKI,KKF
IF(QD(K).GT.QMAX(JJI)) GO TO 111
GO TO 112
111 QMAX(JJI)=QD(K)
112 IF(QD(K).LT.QMIN(JJI)) GO TO 113
GO TO 110
113 QMIN(JJI)=QD(K)
110 CONTINUE
WRITE(4,199) QMIN(JJI),QMAX(JJI),KKI,KKF
199 FORMAT('QMIN(T) = ',F10.2,' QMAX(T) = ',F10.2,' KKI=',I8,'KKF=',I8
*)
100 CONTINUE
C
C   ESTATISTICAS DAS VAZOES MEDIAS MENSAIS MAXIMAS E MINIMAS DA SERIE
HISTORICA
C
KKI=1
KKF=12
DO 300 I=1,20
QMMAX(I)=0.0
QMMIN(I)=100000000.0
IF(I.EQ.1) GO TO 320
KKI=KKI+12
KKF=KKF+12

```

```

320 DO 301 II=KKI,KKF
      IF(QM(II).GT.QMMAX(I)) GO TO 303
      GO TO 304
303 QMMAX(I)=QM(II)
304 IF(QM(II).LT.QMMIN(I)) GO TO 305
      GO TO 301
305 QMMIN(I)=QM(II)
301 CONTINUE
300 CONTINUE
      QMMAXMAX=0.0
      QMMAXMIN=10000000.0
      QMMINMAX=0.0
      QMMINMIN=10000000.0
      DO 302 III=1,20
      IF(QMMAX(III).GT.QMMAXMAX) GO TO 310
      GO TO 311
310 QMMAXMAX=QMMAX(III)
311 IF(QMMAX(III).LT.QMMAXMIN) GO TO 312
      GO TO 313
312 QMMAXMIN=QMMAX(III)
313 IF(QMMIN(III).GT.QMMINMAX) GO TO 314
      GO TO 315
314 QMMINMAX=QMMIN(III)
315 IF(QMMIN(III).LT.QMMINMIN) GO TO 316
      GO TO 302
316 QMMINMIN=QMMIN(III)
302 CONTINUE
      WRITE(4,739) QMMAXMAX,QMMAXMIN,QMMINMAX,QMMINMIN
739 FORMAT('QMMAXMAX=',F8.2/, 'QMMAXMIN=',F8.2/, 'QMMINMAX=',F8.2/, 'QMMI
      *NMIN=',F8.2/)

C
C      CALCULA MOMENTOS DE TERCEIRA E QUARTA ORDEM DIARIO --> ASSIMETRIA E
KURTOSE
C
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      DO 330 JI=1,NDIAS
      SOMA1=SOMA1+((QD(JI)-QMED)**3)
      SOMA2=SOMA2+((QD(JI)-QMED)**4)
330 CONTINUE
      E=NDIAS*1.0
      ASSD=(1.0/E)*(SOMA1/(DPD**3))
      CURTD=(1.0/E)*(SOMA2/(DPD**4))

C
C      CALCULA MOMENTOS DE TERCEIRA E QUARTA ORDEM MENSAL --> ASSIMETRIA E
KURTOSE
C
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      DO 331 JI=1,360
      SOMA1=SOMA1+((QM(JI)-QMED)**3)
      SOMA2=SOMA2+((QM(JI)-QMED)**4)
331 CONTINUE
      ASSM=(1.0/240.0)*(SOMA1/(DPM**3))
      CURTM=(1.0/240.0)*(SOMA2/(DPM**4))

C
C      CALCULA MÉDIAS MÓVEIS DE 5 ANOS
C
      DO 340 I=1,20
      KI=1+(12*(I-1))
      KF=12*I

```

```

        SOMA=0.0
        DO 341 J=KI,KF
        SOMA=SOMA+QM(J)
341  CONTINUE
        QAMS(I)=SOMA/12.0
340  CONTINUE
        DO 342 I=1,16
        QMMA(I)=(QAMS(I)+QAMS(I+1)+QAMS(I+2)+QAMS(I+3)+QAMS(I+4))/5.0
342  CONTINUE
        QMMAMIN=1000000000.0
        DO 345 J=1,16
        IF(QMMA(J).GE.QMMAMIN) GO TO 345
        QMMAMIN=QMMA(J)
345  CONTINUE
C
C      ESCREVE SAIDA DO PROGRAMA
C
        WRITE(4,522)QMMAMIN,ASSM,CURTM,ASSD,CURTD
522  FORMAT('QMMAMIN ='F10.3/,'ASSM ='F10.3/,'KURTM ='F10.3/,'ASSD ='F1
*0.3/,'KURTD ='F10.3)
        STOP
        END

```

ANEXO 3 – PROGRAMA EM FORTRAN SOSN1


```

C
C
*****
*****
C          PROGRAMA SOSN 1 - ESTIMACAO DOS PARAMETROS DE ENTRADA DO
MODELO ESTOCASTICO
C
*****
*****
C
C      - DESENVOLVIDO E PROGRAMADO POR RODRIGO KERN
C      - AGOSTO DE 2009
C
C
C      OBJETIVOS:
C
C      1. ESTIMAR OS PARAMETROS DE ENTRADA DO MODELO SHOT NOISE DE SEGUNDA
ORDEM A PARTIR DAS ESTATISTICAS DA SERIE HISTORICA
C      2. PARAMETROS - BETA1, BETA2, TETA1, TETA2 E NI
C      OBS.: NI      = PULSOS DE CHUVA (PROCESSO DE POISSON)
C              TETA1 = TAMANHO DO PULSO (EXPONENCIAL)
C              TETA2 = TAMANHO DO PULSO (EXPONENCIAL)
C              B1     = RECESSÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL (ESTIMATIVA
PRIMARIA POR GRAFICO)
C              B2     = RECESSÃO DO ESCOAMENTO SUB-SUPERFICIAL (ESTIMATIVA
PRIMARIA POR GRAFICO)
C
C
C      ***** PROGRAMA PRINCIPAL *****
C
C
C      DIMENSION A(3,3),B(3,1),DELTA(3,1)
C      REAL NIX,NI,J11,J12,J13,J21,J22,J23,J31,J32,J33
C      CHARACTER ARQ*11
C      WRITE(*,*)'LE O NOME DO ARQUIVO DE DADOS'
C      READ(*,'(A)') ARQ
C      OPEN(3,FILE=ARQ,STATUS='OLD')
C      OPEN(4,FILE='RESULTADO',STATUS='OLD')
C
C      LE OS VALORES DE B1 E B2 E ESTATISTICAS DIARIAS E MENSAIS DA SERIE
HISTORICA DE VAZUES
C
C      READ(3,05) B1,B2,QM,VARM,AUTOM,VARD,AUTOD
05      FORMAT(7F8.0)
C
C      ACHA OS PARAMETROS B1 E B2
C
C      X1=AUTOD*VARD
C      X2=AUTOM*VARM
C      AA=-0.1
C      EMIN=10.0**6
C      DO 20 K=1,300
C          BB=-0.1
C          AA=AA+0.01
C          DO 10 I=1,300
C              BB=BB+0.001
C              B1T=B1+AA
C              B2T=B2+BB
C              D11=(2*(B1T*1-(1-EXP(-B1T*1))))/((B1T*1)**2)
C              D12=(2*(B1T*30.4-(1-EXP(-B1T*30.4))))/((B1T*30.4)**2)
C              D21=(2*(B2T*1-(1-EXP(-B2T*1))))/((B2T*1)**2)

```

```

D22=((2*(B2T*30.4-(1-EXP(-B2T*30.4))))/((B2T*30.4)**2)
E11=((1-EXP(-B1T*1))**2)/((B1T*1)**2)
E12=((1-EXP(-B1T*30.4))**2)/((B1T*30.4)**2)
E21=((1-EXP(-B2T*1))**2)/((B2T*1)**2)
E22=((1-EXP(-B2T*30.4))**2)/((B2T*30.4)**2)
XT1=(E11*((VARD*D22)-(VARM*D21)))/((D22*D11)-(D12*D21))+(E21*(
* (VARM*D11)-(VARD*D12)))/((D22*D11)-(D12*D21))
XT2=(E12*((VARD*D22)-(VARM*D21)))/((D22*D11)-(D12*D21))+(E22*(
* (VARM*D11)-(VARD*D12)))/((D22*D11)-(D12*D21))
ER1=ABS(XT1-X1)
ER2=ABS(XT2-X2)
ERROS=ER1+ER2
IF(ERROS-EMIN) 09,10,10
09 EMIN=ERROS
AX=AA
BX=BB
SS1=((VARD*D22)-(VARM*D21))/((D22*D11)-(D12*D21))
SS2=((VARM*D11)-(VARD*D12))/((D22*D11)-(D12*D21))
10 CONTINUE
20 CONTINUE
B1=B1+AX
B2=B2+BX
C
C
C CALCULA T1(TETA1), T2(TETA2) E NI
T1=500.0
T2=100.0
NI=0.5
DO 30 J=1,100
C
C
C CALCULA JACOBIANO
J11=((2*NI*T1)/B1)+((2*NI*T2)/(B1+B2))
J12=(2*NI*T1)/(B1+B2)
J13=((T1**2)/B1)+((2*T1*T2)/(B1+B2))
J21=(2*NI*T2)/(B1+B2)
J22=((2*NI*T2)/B2)+((2*T1*NI)/(B1+B2))
J23=((T2**2)/B2)+((2*T1*T2)/(B1+B2))
J31=NI/B1
J32=NI/B2
J33=(T1/B1)+(T2/B2)
C
C
C CALCULA VETOR COLUNA F(T1,T2,NI)
F11=-(-SS1+((NI*T1*T1)/B1)+((2*NI*T1*T2)/(B1+B2)))
F21=-(-SS2+((NI*T2*T2)/B2)+((2*NI*T1*T2)/(B1+B2)))
F31=-(-QM+(NI*T1/B1)+(NI*T2/B2))
C
C
C CALCULA O SISTEMA LINEAR POR ELIMINACAO DE GAUSS-JORDAN COM
PIVOTAMENTO TOTAL
C
C COM OBJETIVO DE ACHAR OS DELTAS (X-X0)
C
A(1,1)=J11
A(1,2)=J12
A(1,3)=J13
A(2,1)=J21
A(2,2)=J22
A(2,3)=J23
A(3,1)=J31
A(3,2)=J32
A(3,3)=J33

```

```

        B(1,1)=F11
        B(2,1)=F21
        B(3,1)=F31
        NP=3
        MP=1
        N=3
        M=1
C
        CALL GAUSSJ(A,N,NP,B,M,NP)
C
C      TESTA CONVERGENCIA
C
        DELTA(1,1)=B(1,1)
        DELTA(2,1)=B(2,1)
        DELTA(3,1)=B(3,1)
        T1X=T1+DELTA(1,1)
        T2X=T2+DELTA(2,1)
        NIX=NI+DELTA(3,1)
        TES1=ABS((T1-T1X)/T1X)
        TES2=ABS((T2-T2X)/T2X)
        TES3=ABS((NI-NIX)/NIX)
        IF(TES1.GE.0.99.AND.TES1.LE.1.01.AND.TES2.GE.0.99.AND.TES2.LE.1.
*      01.AND.TES3.GE.0.99.AND.TES3.LE.1.01) GO TO 40
        T1=T1X
        T2=T2X
        NI=NIX
30      CONTINUE
40      WRITE(4,100) B1,B2,T1,T2,NI
100     FORMAT('B1 =',F9.4/,'B2 =',F9.4/,'TETA1 =',F9.4/,'TETA2 =',F9.4/,'
*NI =',F9.4/)
        STOP
        END
C
C      PROGRAMA SOLUCAO DE SISTEMA LINEAR POR ELIMINACAO DE GAUSS-JORDAN
COM PIVOTAMENTO TOTAL
C
        SUBROUTINE GAUSSJ(A,N,NP,B,M,MP)
        PARAMETER (NMAX=50)
        DIMENSION A(NP,NP),B(NP,MP),IPIV(NMAX),INDXR(NMAX),INDXC(NMAX)
        DO 11 J=1,N
            IPIV(J)=0
11      CONTINUE
        DO 22 I=1,N
            BIG=0.0
            DO 13 J=1,N
                IF(IPIV(J).NE.1)THEN
                    DO 12 K=1,N
                        IF(IPIV(K).EQ.0)THEN
                            IF(ABS(A(J,K)).GE.BIG)THEN
                                BIG=ABS(A(J,K))
                                IROW=J
                                ICOL=K
                            ENDIF
                        ELSE IF (IPIV(K).GT.1)THEN
                            PAUSE 'SINGULAR MATRIX'
                        ENDIF
                    ENDIF
                ENDIF
            DO 12 CONTINUE
            ENDIF
        DO 13 CONTINUE
        IPIV(ICOL)=IPIV(ICOL)+1
        IF(IROW.NE.ICOL)THEN

```

```

DO 14 L=1,N
DUM=A(IROW,L)
A(IROW,L)=A(ICOL,L)
A(ICOL,L)=DUM
14 CONTINUE
DO 15 L=1,M
DUM=B(IROW,L)
B(IROW,L)=B(ICOL,L)
B(ICOL,L)=DUM
15 CONTINUE
ENDIF
INDXR(I)=IROW
INDXC(I)=ICOL
IF(A(ICOL,ICOL).EQ.0.) PAUSE 'SINGULAR MATRIX'
PIVINV=1./A(ICOL,ICOL)
A(ICOL,ICOL)=1.
DO 16 L=1,N
A(ICOL,L)=A(ICOL,L)*PIVINV
16 CONTINUE
DO 17 L=1,M
B(ICOL,L)=B(ICOL,L)*PIVINV
17 CONTINUE
DO 21 LL=1,N
IF(LL.NE.ICOL)THEN
DUM=A(LL,ICOL)
A(LL,ICOL)=0.
DO 18 L=1,N
A(LL,L)=A(LL,L)-A(ICOL,L)*DUM
18 CONTINUE
DO 19 L=1,M
B(LL,L)=B(LL,L)-B(ICOL,L)*DUM
19 CONTINUE
ENDIF
21 CONTINUE
22 CONTINUE
DO 24 L=N,1,-1
IF(INDXR(L).NE.INDXC(L))THEN
DO 23 K=1,N
DUM=A(K,INDXR(L))
A(K,INDXR(L))=A(K,INDXC(L))
A(K,INDXC(L))=DUM
23 CONTINUE
ENDIF
24 CONTINUE
RETURN
END

```

ANEXO 4 – PROGRAMA EM FORTRAN SOSN2

```

C
C
*****
*****
C          PROGRAMA SOSN 2 - GERACAO DE VAZUES MEDIAS DIARIAS E CALCULOS DE
SUAS ESTATISTICAS
C
*****
*****
C
C      - DESENVOLVIDO E PROGRAMADO POR RODRIGO KERN
C      - AGOSTO DE 2009
C
C      OBJETIVOS:
C
C      1. GERAR SERIE DE VAZUES MEDIAS DIARIAS PELO MODELO ESTOCASTICO SOSN
C      2. CALCULAR AS ESTATISTISCAS MENSAIS, DIARIAS E DO MAX DEFICIT
ACUMULADO DA SERIE GEREDA
C
C
C      ***** PROGRAMA PRINCIPAL *****
C
C
C      DIMENSION T(1000),X1R1(2),X1R2(2),X2R1(2),X2R2(2),W(1000),TAL(1000
*) ,Y1(1000),Y2(1000),A1R1(1000),A2R2(1000),A1R2(1000),A2R1(1000),QD
*(11000000),QM(3000,12),MES(12),DEF(11000000),QAX1(36000),QAX2(36000
*),QMAX(3000),QMIN(3000),DEFMAX(100),QDMAX(100),QDMIN(100),QMAXMED(
*100),QMINMED(100),QDMAXS(100),QDMINS(100),QDMEDSERIE(100),QDMEDS1(
*100),QDMEDS2(100),VARDS(100),DPDS(100),AUTODS(100),DELTAXDS(100),D
*ELTASDS(100),QMMAXS(100),QMMINS(100),QMMEDS(100),QMMEDS1(100),QME
*DS2(100),VARMS(100),DPMS(100),AUTOMS(100),DELTAXMS(100),DELTASMS(1
*00),ASSDS(100),CURTDS(100),ASSMS(100),CURTMS(100),QAMS(3000),QAMS2
*(3000),QMAA5(3000),QMAA52(3000),QMAA4(3000),QMAA42(3000),QMAA6(300
*0),QMAA62(3000),QMMAMIN5(100),QMMAMIN52(100),QMMAMIN4(100),QMMAMIN
*42(100),QMMAMIN6(100),QMMAMIN62(100),CONT(11000000),QD2(11000000)
DATA MES/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
REAL NI
INTEGER R,G,NDIAS,TEMPODIA,F
CHARACTER ARQ*11
C
C      WRITE(*,*)'LE O NOME DO ARQUIVO DE DADOS'
C      READ(*,'(A)') ARQ
C      OPEN(3,FILE=ARQ,STATUS='OLD')
C      OPEN(4,FILE='RESULTADO',STATUS='OLD')
C
C      LÊ OS PARÂMETROS DO MODELO ESTOCÁSTICO SOSN
C
C      READ(3,05) B1,B2,QMLT,T1,T2,NI
05 FORMAT(6F8.0)
C      READ(3,06) KURTD,KURTM,DPDH,DPMH
06 FORMAT(4F8.0)
C      IX=26341723
C      X1R1(1)=0.0
C      X1R2(1)=0.0
C      X2R1(1)=QMLT
C      X2R2(1)=QMLT*0.5
C      QD(1)=QMLT+(QMLT*0.5)
C      QDMIN=10000000.0
C      QDMAX=0.0
C      DO 20 I=2,1095750
C          X1R1(2)=(1/B1)*(1-EXP(-B1))*X2R1(1)

```

```

X1R2(2)=(1/B2)*(1-EXP(-B2))*X2R2(1)
X2R1(2)=(EXP(-B1))*X2R1(1)
X2R2(2)=(EXP(-B2))*X2R2(1)
T(1)=0.0
TAL(1)=0.0
A1R1(1)=0.0
A1R2(1)=0.0
A2R1(1)=0.0
A2R2(1)=0.0
DO 10 J=2,1000
CALL RRANDU(IX,IY,U)
IX=IY
W(J)=(1/NI)*(-LOG(U))
TAL(J)=TAL(J-1)+W(J)
IF(TAL(J).GT.1) GO TO 15
CALL RRANDU(IX,IY,U)
IX=IY
Y1(J)=T1*(-LOG(U))
Y2(J)=T2*(-LOG(U))
A1R1(J)=A1R1(J-1)+(1/B1)*(Y1(J))*(1-EXP(-B1*(T(J-1)+1-TAL(J))))
A1R2(J)=A1R2(J-1)+(1/B2)*(Y2(J))*(1-EXP(-B2*(T(J-1)+1-TAL(J))))
A2R1(J)=A2R1(J-1)+(Y1(J))*(EXP(-B1*(T(J-1)+1-TAL(J))))
A2R2(J)=A2R2(J-1)+(Y2(J))*(EXP(-B2*(T(J-1)+1-TAL(J))))
X1R1(2)=X1R1(2)+A1R1(J)
X1R2(2)=X1R2(2)+A1R2(J)
X2R1(2)=X2R1(2)+A2R1(J)
X2R2(2)=X2R2(2)+A2R2(J)
X1=X1R1(2)+X1R2(2)
10 CONTINUE
15 X1=X1R1(2)+X1R2(2)
X1R1(1)=X1R1(2)
X1R2(1)=X1R2(2)
X2R1(1)=X2R1(2)
X2R2(1)=X2R2(2)
QD(I)=X1
20 CONTINUE
C
C CALCULA VAZOES MEDIAS MENSAIS DA SERIE DIARIA GERADA
C
N=36000
XN=36000.0
ICONT=0
III=0
JJJ=0
IKJ=0
DO 30 IANO=1,3000
III=III+1
IKJ=IKJ+1
IF(IKJ.EQ.30) GO TO 38
GO TO 39
38 III=0
IKJ=0
39 IF(III.EQ.4) GO TO 31
MES(2)=28
GO TO 32
31 MES(2)=29
III=0
32 F=1
MM=0
DO 37 IJJ=1,12
JJJ=JJJ+1

```

```

        SOMA=0.0
        MM=MM+MES(IJJ)
        DO 35 J=F,MM
        ICONT=ICONT+1
        SOMA=SOMA+QD(ICONT)
        F=1
35  CONTINUE
        F=F+MM
        QM(IANO,IJJ)=SOMA/MES(IJJ)
        QAX1(JJJ)=QM(IANO,IJJ)
        IF(IANO.EQ.1.AND.IJJ.EQ.1) GO TO 37
        QAX2(JJJ-1)=QM(IANO,IJJ)
37  CONTINUE
30  CONTINUE
C
C      CALCULA MEDIA DE LONGO TERMO E ESTATISTICAS MENSAIS DE TODA SERIE
GERADA
C
        NDIAS=1095700
        SSQM=0.0
        QMED=0.0
        QMED1=0.0
        QMED2=0.0
        SOMA1=0.0
        SOMA2=0.0
        SOMA3=0.0
        DO 40 LL=1,N
            QMED=QMED+QAX1(LL)
40  CONTINUE
        XXN=N-1.0
        DO 41 I=2,XXN
            QMED1=QMED1+QAX1(I)
            QMED2=QMED2+QAX2(I)
41  CONTINUE
        QMED=QMED/XXN
        QMED1=QMED1/(XXN-1.0)
        QMED2=QMED2/(XXN-1.0)
        DO 50 IN=1,36000
            IF(IN.EQ.1) GO TO 50
            SOMA1=SOMA1+(QAX1(IN)-QMED1)*(QAX2(IN)-QMED2)
            SOMA2=SOMA2+((QAX1(IN)-QMED1)**2)
            SOMA3=SOMA3+((QAX2(IN)-QMED2)**2)
50  CONTINUE
        DO 60 K=1,N
            SSQM=SSQM+((QAX1(K)-QMED)**2)
60  CONTINUE
        VARM=SSQM/(N-1)
        DPM=SQRT(VARM)
        AUTOM=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
C
C      CALCULA ESTATISTICAS DIARIAS DE TODA SERIE GERADA
C
        SSQD=0.0
        QMEDD1=0.0
        QMEDD2=0.0
        SOMA1=0.0
        SOMA2=0.0
        SOMA3=0.0
        DO 70 I=2,NDIAS
            QMEDD1=QMEDD1+QD(I)
70  CONTINUE

```



```

        QMEDD1=QMEDD1/(NDIAS-1)
        TEMPODIA=NDIAS-1
        DO 71 II=1,TEMPODIA
            QMEDD2=QMEDD2+QD(II)
71 CONTINUE
        QMEDD2=QMEDD2/(NDIAS-1)
        DO 80 III=1,NDIAS
            SSQD=SSQD+(QD(III)-QMED)**2
            IF(III.LT.2)GO TO 80
            SOMA1=SOMA1+((QD(III)-QMEDD2)*(QD(III-1)-QMEDD1))
            SOMA2=SOMA2+((QD(III)-QMEDD2)**2)
            SOMA3=SOMA3+((QD(III-1)-QMEDD1)**2)
80 CONTINUE
        VARD=SSQD/(NDIAS-1)
        DPD=SQRT(VARD)
        AUTOD=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
C
C     CALCULA ESTATISTICA DO MAXIMO DEFICIT ACUMULADO PARA SERIE
ESTOCASTICA GERADA
C
        DEF(1)=0.0
        DO 90 KIJ=1,100
            KKLK=1+(10957*(KIJ-1))
            KKKL=10957*KIJ
            DO 91 JI=KKLK,KKKL
                DEF(JI+1)=DEF(JI)-QD(JI)+(0.8*QMLT)
                IF(DEF(JI+1).LT.0.) GO TO 92
            GO TO 91
92 DEF(JI+1)=0.
91 CONTINUE
        DEF(JI+1)=0.
90 CONTINUE
C
C     ESTATISTICAS DO MAX. DEF. ACUM. (MEDIA, MAX E MIN)
C
        DEFMAX(1)=0.0
        DO 100 I=1,100
            KKLK=1+(10957*(I-1))
            KKKL=10957*I
            DEFMAX(I)=0.0
            DO 101 J=KKLK,KKKL
                IF(DEF(J).LE.DEFMAX(I)) GO TO 101
            DEFMAX(I)=DEF(J)
101 CONTINUE
100 CONTINUE
        SOMA1=0.0
        DEFMAXMAX=0.0
        DEFMAXMIN=100000000000.0
        DO 110 II=1,100
            SOMA1=SOMA1+DEFMAX(II)
            IF(DEFMAX(II).LE.DEFMAXMAX) GO TO 111
            DEFMAXMAX=DEFMAX(II)
111 IF(DEFMAX(II).GE.DEFMAXMIN) GO TO 110
            DEFMAXMIN=DEFMAX(II)
110 CONTINUE
        DEFMAXMED=SOMA1/100
C
C     ESTUDO DAS VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS MÉDIAS DIÁRIAS ANUAIS DA SÉRIE
GERADA
C
        KKI=1

```

```

      KKF=365
      JJII=0
      JJIL=0
      DO 120 JJ=1,3000
      JJII=JJII+1
      JJIL=JJIL+1
C
C      CALCULA AS VAZOES MAXIMAS E MINIMAS DE CADA ANO GERADO
C
      QMAX(JJ)=0.0
      QMIN(JJ)=10000000.0
      IF(JJ.EQ.1) GO TO 121
      IF(JJIL.EQ.30) GO TO 128
      IF(JJII.EQ.4) GO TO 129
      KKI=KKF+1
      KKF=KKI-1+365
      GO TO 121
129  KKI=KKF+1
      KKF=KKI-1+366
      JJII=0
      GO TO 121
128  JJIL=0
      JJII=0
      KKI=KKF+1
      KKF=KKI-1+365
121  DO 130 K=KKI,KKF
      IF(QD(K).GT.QMAX(JJ)) GO TO 131
      GO TO 132
131  QMAX(JJ)=QD(K)
132  IF(QD(K).LT.QMIN(JJ)) GO TO 133
      GO TO 130
133  QMIN(JJ)=QD(K)
130  CONTINUE
120  CONTINUE
C
C      CALCULA VAZOES MAXIMAS E MINIMAS DE TODA SERIE GERADA
C
      QMAXMAX=0.0
      QMAXMIN=1000000.0
      QMINMAX=0.0
      QMINMIN=1000000.0
      DO 140 I=1,3000
      IF(QMAX(I).GT.QMAXMAX) GO TO 141
      GO TO 142
141  QMAXMAX=QMAX(I)
142  IF(QMAX(I).LT.QMAXMIN) GO TO 143
      GO TO 144
143  QMAXMIN=QMAX(I)
144  IF(QMIN(I).GT.QMINMAX) GO TO 145
      GO TO 146
145  QMINMAX=QMIN(I)
146  IF(QMIN(I).LT.QMINMIN) GO TO 147
      GO TO 140
147  QMINMIN=QMIN(I)
140  CONTINUE
C
C      CALCULA AS MEDIAS DAS VAZOES MAXIMAS E MINIMAS ANUAIS DOS 30 ANOS DE
CADA UMA DAS 100 SERIES GERADAS
C
      DO 148 JKL=1,100
      IIKK=1+(JKL+30)

```

```

      IIKI=30+(JKL+30)
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      DO 149 JKM=IIKK,IIKI
      SOMA1=SOMA1+QMAX(JKM)
      SOMA2=SOMA2+QMIN(JKM)
149  CONTINUE
      QMAXMED(JKL)=SOMA1/30
      QMINMED(JKL)=SOMA2/30
148  CONTINUE
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      DO 415 I=1,100
      SOMA1=SOMA1+QMAXMED(I)
      SOMA2=SOMA2+QMINMED(I)
415  CONTINUE
      QMAXMEDMED=SOMA1/100.0
      QMINMEDMED=SOMA2/100.0
C
C      CALCULA AS MEDIAS DAS VAZOES MAXIMAS E MINIMAS PARA OS 30 ANOS DE
CADA UMA DAS 100 SERIES GERADAS
C
      DO 150 JI=1,100
      KKLK=1+(10957*(JI-1))
      KKKL=10957*JI
      QDMIN(JI)=1000000000.0
      QDMAX(JI)=0.0
      DO 151 JJ=KKLK,KKKL
      IF(QD(JJ).GE.QDMIN(JI)) GO TO 152
      QDMIN(JI)=QD(JJ)
152  IF(QD(JJ).LE.QDMAX(JI)) GO TO 151
      QDMAX(JI)=QD(JJ)
151  CONTINUE
150  CONTINUE
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      DO 153 I=1,100
      SOMA1=SOMA1+QDMAX(I)
      SOMA2=SOMA2+QDMIN(I)
153  CONTINUE
      QDMAXMED=SOMA1/100.0
      QDMINMED=SOMA2/100.0
C
C      CALCULA ESTATISTICAS DIARIAS PARA CADA UMA DAS 100 SERIES GERADAS
C
      DO 160 JJI=1,100
      KKLK=1+(10957*(JJJ-1))
      KKKL=10957*JJJ
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      SOMA3=0.0
      IJKJK=1
      DO 161 I=KKLK,KKKL
      SOMA1=SOMA1+QD(I)
      IF(IJKJK.EQ.1) GO TO 164
      SOMA2=SOMA2+QD(I-1)
      SOMA3=SOMA3+QD(I)
164  IJKJK=2
161  CONTINUE
      QDMEDSERIE(JJI)=SOMA1/10957.0
      QDMEDS1(JJI)=SOMA2/10956.0

```

```

QDMEDS2(JJI)=SOMA3/10956.0
SSQDS=0.0
IJKJK=1
DO 162 J=KKLK, KKKL
SSQDS=SSQDS+((QD(J)-QDMEDSERIE(JJI))**2)
IF(J.EQ.1) GO TO 165
SOMA1=SOMA1+((QD(J)-QDMEDS2(JJI))*(QD(J-1)-QDMEDS1(JJI)))
SOMA2=SOMA2+((QD(J)-QDMEDS2(JJI))**2)
SOMA3=SOMA3+((QD(J-1)-QDMEDS1(JJI))**2)
165 IJKJK=2
162 CONTINUE
VARDS(JJI)=SSQDS/(10956.0)
DPDS(JJI)=SQRT(VARDS(JJI))
AUTODS(JJI)=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
160 CONTINUE
DPDSMAX=0.0
DPDSMIN=100000000.0
VARDSMAX=0.0
VARDSMIN=10000000000.0
AUTODSMAX=0.0
AUTODSMIN=10000000.0
QDMEDSMAX=0.0
QDMEDSMIN=10000000.0
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
SOMA3=0.0
SOMA4=0.0
DO 170 JJI=1,100
SOMA1=SOMA1+QDMEDSERIE(JJI)
SOMA2=SOMA2+DPDS(JJI)
SOMA3=SOMA3+VARDS(JJI)
SOMA4=SOMA4+AUTODS(JJI)
IF(DPDS(JJI).LE.DPDSMAX) GO TO 171
DPDSMAX=DPDS(JJI)
171 IF(DPDS(JJI).GE.DPDSMIN) GO TO 172
DPDSMIN=DPDS(JJI)
172 IF(VARDS(JJI).LE.VARDSMAX) GO TO 173
VARDSMAX=VARDS(JJI)
173 IF(VARDS(JJI).GE.VARDSMIN) GO TO 174
VARDSMIN=VARDS(JJI)
174 IF(AUTODS(JJI).LE.AUTODSMAX) GO TO 175
AUTODSMAX=AUTODS(JJI)
175 IF(AUTODS(JJI).GE.AUTODSMIN) GO TO 176
AUTODSMIN=AUTODS(JJI)
176 IF(QDMEDSERIE(JJI).LE.QDMEDSMAX) GO TO 177
QDMEDSMAX=QDMEDSERIE(JJI)
177 IF(QDMEDSERIE(JJI).GE.QDMEDSMIN) GO TO 170
QDMEDSMIN=QDMEDSERIE(JJI)
170 CONTINUE
QDMEDMEDS=SOMA1/100.0
DPDSMED=SOMA2/100.0
VARDSMED=SOMA3/100.0
AUTODSMED=SOMA4/100.0
DO 180 KJ=1,100
DELTAXDS(KJ)=ABS(QDMEDSERIE(KJ)-QMLT)/(DPDH*(30**0.5))
DELTASDS(KJ)=ABS(DPDS(KJ)-DPDH)/(((DPDH/2)*((KURTD-1)/30)**0.5))
180 CONTINUE
DELTAXDSMAX=0.0
DELTASDSMAX=0.0
DO 181 LM=1,100
IF(DELTAXDS(LM).LE.DELTAXDSMAX) GO TO 183

```

```

        DELTAXDSMAX=DELTAXDS(LM)
183 IF(DELTA SDS(LM).LE.DELTASDSMAX) GO TO 181
        DELTASDSMAX=DELTASDS(LM)
181 CONTINUE
C
C      CALCULA ESTATISITCAS MENSAIS PARA CADA UMA DAS 100 SERIES GERADAS
C
        DO 190 KK=1,100
          LMNK=1+(360*(KK-1))
          LMNI=360*KK
          IKKKK=1
          SOMA1=0.0
          SOMA2=0.0
          SOMA3=0.0
          QMMAXS(KK)=0.0
          QMMINS(KK)=100000000.0
          DO 191 JK=LMNK,LMNI
            SOMA1=SOMA1+QAX1(JK)
            IF(IKKKK.EQ.1) GO TO 194
            SOMA2=SOMA2+QAX1(JK)
            SOMA3=SOMA3+QAX1(JK-1)
194      IKKKK=2
            IF(QAX1(JK).LE.QMMAXS(KK)) GO TO 193
            QMMAXS(KK)=QAX1(JK)
193      IF(QAX1(JK).GE.QMMINS(KK)) GO TO 191
            QMMINS(KK)=QAX1(JK)
191      CONTINUE
            QMMEDS(KK)=SOMA1/360.0
            QMMEDS1(KK)=SOMA2/359.0
            QMMEDS2(KK)=SOMA3/359.0
            IKKKK=1
            SOMA1=0.0
            SOMA2=0.0
            SOMA3=0.0
            SSQMS=0.0
            DO 192 J=LMNK,LMNI
              SSQMS=SSQMS+((QAX1(J)-QMMEDS(KK))**2)
              IF(IKKKK.EQ.1) GO TO 195
              SOMA1=SOMA1+((QAX1(J)-QMMEDS1(KK))*(QAX1(J-1)-QMMEDS2(KK)))
              SOMA2=SOMA2+((QAX1(J)-QMMEDS1(KK))**2)
              SOMA3=SOMA3+((QAX1(J-1)-QMMEDS2(KK))**2)
195      IKKKK=2
192      CONTINUE
            VARMS(KK)=SSQMS/(359.0)
            DPMS(KK)=SQRT(VARMS(KK))
            AUTOMS(KK)=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
            IKKKK=0
190      CONTINUE
            DPMSMAX=0.0
            DPMSMIN=100000000.0
            VARMSMAX=0.0
            VARMSMIN=10000000000.0
            AUDOMSMAX=0.0
            AUTOMSMIN=10000000.0
            QMMAXSMAX=0.0
            QMMAXSMIN=10000000.0
            QMMINSMAX=0.0
            QMMINSMIN=10000000.0
            SOMA1=0.0
            SOMA2=0.0
            SOMA3=0.0

```

```

DO 200 JJI=1,100
SOMA1=SOMA1+DPMS(JJI)
SOMA2=SOMA2+VARMS(JJI)
SOMA3=SOMA3+AUTOMS(JJI)
IF(DPMS(JJI).LE.DPMSMAX) GO TO 201
DPMSMAX=DPMS(JJI)
201 IF(DPMS(JJI).GE.DPMSMIN) GO TO 202
DPMSMIN=DPMS(JJI)
202 IF(VARMS(JJI).LE.VARMSMAX) GO TO 203
VARMSMAX=VARMS(JJI)
203 IF(VARMS(JJI).GE.VARMSMIN) GO TO 204
VARMSMIN=VARMS(JJI)
204 IF(AUTOMS(JJI).LE.AUTOMSMAX) GO TO 205
AUTOMSMAX=AUTOMS(JJI)
205 IF(AUTOMS(JJI).GE.AUTOMSMIN) GO TO 206
AUTOMSMIN=AUTOMS(JJI)
206 IF(QMMAXS(JJI).LE.QMMAXSMAX) GO TO 207
QMMAXSMAX=QMMAXS(JJI)
207 IF(QMMAXS(JJI).GE.QMMAXSMIN) GO TO 208
QMMAXSMIN=QMMAXS(JJI)
208 IF(QMMINS(JJI).LE.QMMINSMAX) GO TO 209
QMMINSMAX=QMMINS(JJI)
209 IF(QMMINS(JJI).GE.QMMINSMIN) GO TO 200
QMMINSMIN=QMMINS(JJI)
200 CONTINUE
DPMSMED=SOMA1/100.0
VARMSMED=SOMA2/100.0
AUTOMSMED=SOMA3/100.0
DO 210 KJ=1,100
DELTAXMS(KJ)=ABS(QMMEDS(KJ)-QMLT)/(DPMH*(30**0.5))
DELTASMS(KJ)=ABS(DPMS(KJ)-DPMH)/((DPMH/2)*((KURTM-1)/30)**0.5))
210 CONTINUE
DELTAXMSMAX=0.0
DELTASMSMAX=0.0
DO 211 LM=1,100
IF(DELTAXMS(LM).LE.DELTAXMSMAX) GO TO 214
DELTAXMSMAX=DELTAXMS(LM)
214 IF(DELTASMS(LM).LE.DELTASMSMAX) GO TO 211
DELTASMSMAX=DELTASMS(LM)
211 CONTINUE
C
C      CALCULA MOMENTOS DE TERCEIRA E QUARTA ORDEM DIARIO --> ASSIMETRIA E
KURTOSE
C
DO 220 J=1,100
KIJLM=1+(10957*(J-1))
KIJLN=10957*J
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
DO 221 JI=KIJLM,KIJLN
SOMA1=SOMA1+((QD(JI)-QDMEDSERIE(J))**3)
SOMA2=SOMA2+((QD(JI)-QDMEDSERIE(J))**4)
221 CONTINUE
ASSDS(J)=(1.0/10957.0)*(SOMA1/(DPDS(J)**3))
CURTDS(J)=(1.0/10957.0)*(SOMA2/(DPDS(J)**4))
220 CONTINUE
C
C      CALCULA MOMENTOS DE TERCEIRA E QUARTA ORDEM MENSAL --> ASSIMETRIA E
KURTOSE
C
DO 222 J=1,100

```

```

KIJLM=1+(360*(J-1))
KIJLN=360*J
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
DO 223 JI=KIJLM,KIJLN
SOMA1=SOMA1+((QAX1(JI)-QMMEDS(J))**3)
SOMA2=SOMA2+((QAX1(JI)-QMMEDS(J))**4)
223 CONTINUE
ASSMS(J)=(1.0/360.0)*(SOMA1/(DPMS(J)**3))
CURTMS(J)=(1.0/360.0)*(SOMA2/(DPMS(J)**4))
222 CONTINUE
ASSMSMAX=0.0
ASSMSMIN=1000000000.0
ASSDSMAX=0.0
ASSDSMIN=10000000.0
CURTDSMAX=0.0
CURTDSMIN=100000000.0
CURTMSMAX=0.0
CURTMSMIN=100000000.0
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
SOMA3=0.0
SOMA4=0.0
DO 230 KL=1,100
SOMA1=SOMA1+ASSMS(KL)
SOMA2=SOMA2+CURTMS(KL)
SOMA3=SOMA3+ASSDS(KL)
SOMA4=SOMA4+CURTDS(KL)
IF (ASSMS(KL).LE.ASSMSMAX) GO TO 231
ASSMSMAX=ASSMS(KL)
231 IF (ASSMS(KL).GE.ASSMSMIN) GO TO 232
ASSMSMIN=ASSMS(KL)
232 IF (CURTMS(KL).LE.CURTMSMAX) GO TO 233
CURTMSMAX=CURTMS(KL)
233 IF (CURTMS(KL).GE.CURTMSMIN) GO TO 234
CURTMSMIN=CURTMS(KL)
234 IF (ASSDS(KL).LE.ASSDSMAX) GO TO 235
ASSDSMAX=ASSDS(KL)
235 IF (ASSDS(KL).GE.ASSDSMIN) GO TO 236
ASSDSMIN=ASSDS(KL)
236 IF (CURTDS(KL).LE.CURTDSMAX) GO TO 237
CURTDSMAX=CURTDS(KL)
237 IF (CURTDS(KL).GE.CURTDSMIN) GO TO 230
CURTDSMIN=CURTDS(KL)
230 CONTINUE
ASSMSMED=SOMA1/100.0
CURTMSMED=SOMA2/100.0
ASSDSMED=SOMA3/100.0
CURTDSMED=SOMA4/100.0
C
C   CALCULA MÉDIAS MÓVEIS DE 4,5 e 6 ANOS COM E SEM CENSURA EM
QMAX=2*QMLT
C
QC=2.0*QMLT
JANO=0
LANO=0
LF=0
DO 240 I=1,3000
KI=1+(12*(I-1))
KF=12*I
SOMA=0.0

```

```

DO 241 J=KI,KF
SOMA=SOMA+QAX1(J)
241 CONTINUE
QAMS(I)=SOMA/12.0
JANO=JANO+1
LANO=LANO+1
SOMA2=0.0
IF(JANO.EQ.4) GO TO 891
LI=1+LF
LF=LI+365-1
CANO=365.0
GO TO 892
891 LI=1+LF
LF=LI+366-1
CANO=366.0
892 DO 889 LK=LI,LF
IF(QD(LK).LE.QC) GO TO 895
QD2(LK)=QC
GO TO 899
895 QD2(LK)=QD(LK)
899 SOMA2=SOMA2+QD2(LK)
889 CONTINUE
QAMS2(I)=SOMA2/CANO
IF(JANO.EQ.4) GO TO 890
GO TO 894
890 JANO=0
894 IF(LANO.EQ.30) GO TO 893
GO TO 240
893 LANO=0
JANO=0
240 CONTINUE
C
C MEDIA MOVEL DE 5 ANOS
C
DO 242 I=1,100
MI=1+(26*(I-1))
MF=26*I
NMK=(30*(I-1))
DO 243 J=MI,MF
NMK=NMK+1
QMA5(J)=(QAMS(NMK)+QAMS(NMK+1)+QAMS(NMK+2)+QAMS(NMK+3)+QAMS(NMK+4
*)) / 5.0
QMA52(J)=(QAMS2(NMK)+QAMS2(NMK+1)+QAMS2(NMK+2)+QAMS2(NMK+3)+QAMS2
*(NMK+4)) / 5.0
243 CONTINUE
242 CONTINUE
DO 244 I=1,100
QMMAMIN5(I)=1000000000.0
QMMAMIN52(I)=1000000000.0
MI=1+(26*(I-1))
MF=26*I
DO 245 J=MI,MF
IF(QMA5(J).GE.QMMAMIN5(I)) GO TO 247
QMMAMIN5(I)=QMA5(J)
247 IF(QMA52(J).GE.QMMAMIN52(I)) GO TO 245
QMMAMIN52(I)=QMA52(J)
245 CONTINUE
244 CONTINUE
QMMAMINMIN5=1000000000.0
QMMAMINMIN52=1000000000.0
SOMA1=0.0

```



```

SOMA2=0.0
DO 246 L=1,100
SOMA1=SOMA1+QMMAMIN5(L)
SOMA2=SOMA2+QMMAMIN52(L)
IF(QMMAMIN5(L).GE.QMMAMINMIN5) GO TO 248
QMMAMINMIN5=QMMAMIN5(L)
248 IF(QMMAMIN52(L).GE.QMMAMINMIN52) GO TO 246
QMMAMINMIN52=QMMAMIN52(L)
246 CONTINUE
QMMAMED5=SOMA1/100.0
QMMAMED52=SOMA2/100.0
C
C   MEDIA MOVEL DE 4 ANOS
C
DO 252 I=1,100
MI=1+(27*(I-1))
MF=27*I
NMK=(30*(I-1))
DO 253 J=MI,MF
NMK=NMK+1
QMMA4(J)=(QAMS(NMK)+QAMS(NMK+1)+QAMS(NMK+2)+QAMS(NMK+3))/4.0
QMMA42(J)=(QAMS2(NMK)+QAMS2(NMK+1)+QAMS2(NMK+2)+QAMS2(NMK+3))/4.0
253 CONTINUE
252 CONTINUE
DO 254 I=1,100
QMMAMIN4(I)=1000000000.0
QMMAMIN42(I)=1000000000.0
MI=1+(27*(I-1))
MF=27*I
DO 255 J=MI,MF
IF(QMMA4(J).GE.QMMAMIN4(I)) GO TO 257
QMMAMIN4(I)=QMMA4(J)
257 IF(QMMA42(J).GE.QMMAMIN42(I)) GO TO 255
QMMAMIN42(I)=QMMA42(J)
255 CONTINUE
254 CONTINUE
QMMAMINMIN4=1000000000.0
QMMAMINMIN42=1000000000.0
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
DO 256 L=1,100
SOMA1=SOMA1+QMMAMIN4(L)
SOMA2=SOMA2+QMMAMIN42(L)
IF(QMMAMIN4(L).GE.QMMAMINMIN4) GO TO 258
QMMAMINMIN4=QMMAMIN4(L)
258 IF(QMMAMIN42(L).GE.QMMAMINMIN42) GO TO 256
QMMAMINMIN42=QMMAMIN42(L)
256 CONTINUE
QMMAMED4=SOMA1/100.0
QMMAMED42=SOMA2/100.0
C
C   MEDIA MOVEL DE 6 ANOS
C
DO 262 I=1,100
MI=1+(25*(I-1))
MF=25*I
NMK=(30*(I-1))
DO 263 J=MI,MF
NMK=NMK+1
QMMA6(J)=(QAMS(NMK)+QAMS(NMK+1)+QAMS(NMK+2)+QAMS(NMK+3)+QAMS(NMK+4
*)+QAMS(NMK+5))/6.0

```

```

      QMMA62(J)=(QAMS2(NMK)+QAMS2(NMK+1)+QAMS2(NMK+2)+QAMS2(NMK+3)+QAMS2
      *(NMK+4)+QAMS2(NMK+5))/6.0
263 CONTINUE
262 CONTINUE
      DO 264 I=1,100
      QMMAMIN6(I)=1000000000.0
      QMMAMIN62(I)=1000000000.0
      MI=1+(25*(I-1))
      MF=25*I
      DO 265 J=MI,MF
      IF(QMMA6(J).GE.QMMAMIN6(I)) GO TO 267
      QMMAMIN6(I)=QMMA6(J)
267 IF(QMMA62(J).GE.QMMAMIN62(I)) GO TO 265
      QMMAMIN62(I)=QMMA62(J)
265 CONTINUE
264 CONTINUE
      QMMAMINMIN6=1000000000.0
      QMMAMINMIN62=1000000000.0
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      DO 266 L=1,100
      SOMA1=SOMA1+QMMAMIN6(L)
      SOMA2=SOMA2+QMMAMIN62(L)
      IF(QMMAMIN6(L).GE.QMMAMINMIN6) GO TO 268
      QMMAMINMIN6=QMMAMIN6(L)
268 IF(QMMAMIN62(L).GE.QMMAMINMIN62) GO TO 266
      QMMAMINMIN62=QMMAMIN62(L)
266 CONTINUE
      QMMAMED6=SOMA1/100.0
      QMMAMED62=SOMA2/100.0
C
C      CALCULO DOS DIAS DE RECESSAO DE CADA UMA DAS 100 SERIES - MEDIA,MAX
C
      CONT(1)=0.0
      JKM=1
      DO 270 I=2,1095700
      IF(QD(I).GT.QD(I-1)) GO TO 271
      CONT(JKM)=CONT(JKM)+1.0
      GO TO 270
271 JKM=JKM+1
      CONT(JKM)=0.0
270 CONTINUE
      SOMA=0.0
      RECMAX=0.0
      DO 272 J=1,JKM
      SOMA=SOMA+(CONT(J))
      IF(CONT(J).LT.RECMAX) GO TO 272
      RECMAX=CONT(J)
272 CONTINUE
      RECMED=SOMA/(JKM*1.0)
C
C      ESCRIVE SAIDA DO PROGRAMA
C
      WRITE(4,522)QDMEDMEDS,QMED,DPM,VARM,AUTOM,DPD,VARD,AUTOD,DEFMAXMAX
      *,DEFMAXMIN,DEFMAXMED,QMAXMAX,QMAXMIN,QMINMAX,QMINMIN,QMAXMEDMED,QM
      *INMEDMED,QDAXMED,QDMINMED,DPDSMED,DPDSMAX,DPDSMIN,VARDSMED,VARDSM
      *AX,VARDSMIN,AUTODSMED,AUTODSMAX,AUTODSMIN,QDMEDMEDS,QDMEDSMAX,QDME
      *DSMIN,DELTAXDSMAX,DELTASDSMAX,QMAXSMAX,QMAXSMIN,QMMINSMAX,QMMINS
      *MIN,DPMSMED,DPMSMAX,DPMSMIN,VARMSMED,VARMSMAX,VARMSMIN,AUTOMSMED,A
      *UTOMSMAX,AUTOMSMIN,DELTAXMSMAX,DELTASMSMAX,ASSMSMAX,ASSMSMIN,ASSMS
      *MED,CURTMSMAX,CURTMSMIN,CURTMSMED,ASSDSMAX,ASSDSMIN,ASSDSMED,CURTD

```

```

*SMAX,CURTDSMIN,CURTDSMED,RECMAX,RECMED,QMMAMED5,QMMAMED52,QMMAMINM
*IN5,QMMAMINMIN52,QMMAMED4,QMMAMED42,QMMAMINMIN4,QMMAMINMIN42,QMMAM
*ED6,QMMAMED62,QMMAMINMIN6,QMMAMINMIN62
522 FORMAT('QDMEDMEDS=',F10.3/,'QMED =',F10.3/,'DPM =',F10.3/,'VARM =',
*,F10.3/,'AUTOM =',F10.3/,'DPD =',F10.3/,'VARD =',F10.3/,'AUTOD =',F
*10.3/,'DEFMAXMAX =',F10.3/,'DEFMAXMIN =',F10.3/,'DEFMAXMED =',F10.3/,'
*QMAXMAX =',F10.3/,'QMAXMIN =',F10.3/,'QMINMAX =',F10.3/,'QMINMIN =',F
*10.3/,'QMAXMEDMED =',F10.3/,'QMINMEDMED =',F10.3/,'QDMAXMED =',F10.3/
*, 'QDMINMED =',F10.3/,'DPDSMED =',F10.3/,'DPDSMAX =',F10.3/,'DPDSMIN =',
*'F10.3/,'VARDSMED =',F15.3/,'VARDSMAX =',F15.3/,'VARDSMIN =',F15.3/,'
*AUTODSMED =',F10.3/,'AUTODSMAX =',F10.3/,'AUTODSMIN =',F10.3/,'QDMEDM
*EDS =',F10.3/,'QDMEDSMAX =',F10.3/,'QDMEDSMIN =',F10.3/,'DELTAXDSMAX
*=',F10.3/,'DELTASDSMAX =',F10.3/,'QMMAXSMAX =',F10.3/,'QMMAXSMIN =',F1
*0.3/,'QMMINSMAX =',F10.3/,'QMMINSMIN =',F10.3/,'DPMSMED =',F10.3/,'DP
*MSMAX =',F10.3/,'DPMSMIN =',F10.3/,'VARMSMED =',F15.3/,'VARMSMAX =',F1
*5.3/,'VARMSMIN =',F15.3/,'AUTOMSMED =',F10.3/,'AUTOMSMAX =',F10.3/,'A
*UTOMSMIN =',F10.3/,'DELTAXMSMAX =',F10.3/,'DELTASMSMAX =',F10.3/,'ASS
*MSMAX =',F10.3/,'ASSMSMIN =',F10.3/,'ASSMSMED =',F10.3/,'KURTMSMAX =',
*'F10.3/,'KURTMSMIN =',F10.3/,'KURTSMED =',F10.3/,'ASSDSMAX =',F10.3/,'
*ASSDSMIN =',F10.3/,'ASSDSMED =',F10.3/,'KURTDSMAX =',F10.3/,'KURTDSMI
*N =',F10.3/,'KURTDSMED =',F10.3/,'RECMAX =',F10.3/,'RECMED =',F10.2/
*, 'QMMAMED5 =',F10.3/,'QMMAMED52 =',F10.3/,'QMMAMIN5 =',F10.3/,'QMM
*AMIN52 =',F10.3/,'QMMAMED4 =',F10.3/,'QMMAMED42 =',F10.3/,'QMMAMIN
*4 =',F10.3/,'QMMAMIN42 =',F10.3/,'QMMAMED6 =',F10.3/,'QMMAMED62 =',
*,F10.3/,'QMMAMIN6 =',F10.3/,'QMMAMIN62 =',F10.3)
STOP
END

```

C
C
C

```

SUBROTINA RANDU - GERAÇÃO DE NÚMEROS ALEATÓRIOS UNIFORMES

SUBROUTINE RANDU(ISEED,IY,RN)
  IY=ISEED*65539
  IF(IY) 5,10,10
5  IY=IY+2147483647+1
10 RN=IY
  RN=RN*.4656613E-9
  IF(RN.LT.0.0) RN=RN+1
  RETURN
END

```

ANEXO 5 – PROGRMA EM FORTRAN DIANA1

```

C
*****
*****
C
PROGRAMA - DIANA 1
C
*****
*****
C
OBJETIVO:
C
CALCULO INICIAL DOS PARAMETROS (LAMBDA, BETA E CORREL. TRUNCADA)
E
C
ESTATISTICAS DA SERIE HISTORICA
C
*****
*****
C
DESENVOLVIDO E PROGRAMADO POR RODRIGO KERN
C
C
JULHO DE 2009
C
C
***** PROGRAMA PRINCIPAL
*****
C
C
DIMENSION Q(500,31),QM(500),QD(20000),M(12),U(20000),UX(20000),FU(
*20000),DEF(11000),UU(20000),UUX(20000)
REAL P,UMEDT,LAMB
INTEGER MT,MM,TEMPODIA
CHARACTER arq*12
DATA M/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
WRITE(*,*) 'LER O NOME DO ARQUIVO DE DADOS'
READ(*,*) arq
OPEN(3,file=arq,status='old')
OPEN(4,file='resultado',status='old')
C
C
LE AS VAZOES MEDIAS DIARIAS DA SERIE HISTORICA
C
II=0
K=0
READ(3,01) IANOI,IANOF
01 FORMAT(2I5)
NA=(IANOF-IANOI)+1
NMES=NA*12
DO 20 I=IANOI,IANOF
IF((I/4)*4-I) 04,05,04
04 M(2)=28
GO TO 06
05 M(2)=29
06 DO 15 J=1,12
MES=M(J)
K=K+1
QM(K)=0.0
READ(3,07) (Q(K,L),L=1,MES)
07 FORMAT(31X,31F8.0)
DO 10 L=1,MES
II=II+1
QD(II)=Q(K,L)
QM(K)=QM(K)+Q(K,L)
10 CONTINUE
QM(K)=QM(K)/MES
15 CONTINUE
20 CONTINUE

```

```

        NDIAS=II
C
C      ESCRIVE VAZOES DIARIAS PARA CALCULO DO LAMBDA NO EXCEL
C
        WRITE(4,333)(QD(II),II=1,10957)
333  FORMAT(F8.2)
C
C      CALCULA MEDIA DE LONGO TERMO E ESTATISTICAS MENSAIS
C
        SSQM=0.0
        QMED=0.0
        QMEDM1=0.0
        QMEDM2=0.0
        SOMA1=0.0
        SOMA2=0.0
        SOMA3=0.0
        DO 30 K=1,NMES
        QMED=QMED+QM(K)
30  CONTINUE
        QMED=QMED/NMES
        DO 31 K=2,NMES
        QMEDM1=QMEDM1+QM(K)
31  CONTINUE
        QMEDM1=QMEDM1/(NMES-1)
        TEMPOMES=NMES-1
        DO 32 K=1,TEMPOMES
        QMEDM2=QMEDM2+QM(K)
32  CONTINUE
        QMEDM2=QMEDM2/(NMES-1)
        DO 40 K=1,NMES
        SSQM=SSQM+(QM(K)-QMED)**2
        IF(K.LT.2) GO TO 40
        SOMA1=SOMA1+((QM(K)-QMEDM2)*(QM(K-1)-QMEDM1))
        SOMA2=SOMA2+((QM(K)-QMEDM2)**2)
        SOMA3=SOMA3+((QM(K-1)-QMEDM1)**2)
40  CONTINUE
        VARM=SSQM/(NMES-1)
        DPM=SQRT(VARM)
        AUTOM=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
C
C      CALCULA ESTATISTICAS DIARIAS
C
        SSQD=0.0
        QMEDD1=0.0
        QMEDD2=0.0
        SOMA1=0.0
        SOMA2=0.0
        SOMA3=0.0
        DO 50 I=2,NDIAS
        QMEDD1=QMEDD1+QD(I)
50  CONTINUE
        QMEDD1=QMEDD1/(NDIAS-1)
        TEMPODIA=NDIAS-1
        DO 51 I=1,TEMPODIA
        QMEDD2=QMEDD2+QD(I)
51  CONTINUE
        QMEDD2=QMEDD2/(NDIAS-1)
        DO 60 I=1,NDIAS
        SSQD=SSQD+(QD(I)-QMED)**2
        IF(I.LT.2)GO TO 60
        SOMA1=SOMA1+((QD(I)-QMEDD2)*(QD(I-1)-QMEDD1))

```

```

        SOMA2=SOMA2+((QD(I)-QMEDD2)**2)
        SOMA3=SOMA3+((QD(I-1)-QMEDD1)**2)
60  CONTINUE
        VARD=SSQD/(NDIAS-1)
        DPD=SQRT(VARD)
        AUTOD=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))

C
C      CALCULO DO MAXIMO DEFICIT ACUMULADO DA SERIE HISTORICA
C
        DEF(1)=0.0
        DO 70 IJ=1,NDIAS
        DEF(IJ+1)=DEF(IJ)-QD(IJ)+(0.8*QMED)
        IF(DEF(IJ+1).LT.0.0) GO TO 71
        GO TO 70
71  DEF(IJ+1)=0.0
70  CONTINUE

C
C      ESTATISTICAS DO MAX. DEF. ACUMULADO - MEDIA, DP E VAR.
C
        SOMA1=0.0
        SOMA2=0.0
        DEFMAX=0.0
        DO 80 I=1,NDIAS
        SOMA1=SOMA1+DEF(I)
        IF(DEFMAX.LT.DEF(I)) GO TO 81
        GO TO 80
81  DEFMAX=DEF(I)
80  CONTINUE
        DEFMED=SOMA1/NDIAS
        DO 90 J=1,NDIAS
        SOMA2=SOMA2+((DEF(J)-DEFMED)**2)
90  CONTINUE
        VARDEF=SOMA2/(NDIAS-1)
        DPDEF=SQRT(VARDEF)
        WRITE(4,100)QMED,DPM,VARM,AUTOM,DPD,VARD,AUTOD,DEFMAX,DEFMED,VARDE
        *F,DPDEF
100  FORMAT('QMED =',F8.3/,'DPM =',F8.3/,'VARM =',F10.3/,'AUTOM =',F8.3/
        *,'DPD =',F8.3/,'VARD =',F10.3/,'AUTOD =',F8.3/,'DEFMAX =',F15.3/,'DE
        *FMED =',F8.3/,'VARDEF =',F15.3/,'DPDEF =',F15.3/)

C
C      CALCULA SERIE U(T)
C      OBS - MT = M DO ARTIGO
C
        MT=0
        LAMB=0.94
        DO 110 II=1,TEMPODIA
        U(II)=QD(II+1)/QD(II)
        IF (U(II).GT.LAMB) GO TO 111
        U(II)=0.
        UU(II)=0.
        MT=MT+1
        GO TO 110
111  U(II)=QD(II+1)-(1.0*QD(II))
        UU(II)=QD(II+1)-(1.0*QD(II))
110  CONTINUE
        CALL SORTX(TEMPODIA,U,UX)
        XMT=MT
        P=XMT/TEMPODIA
        MM=TEMPODIA-MT
        WRITE(4,211) P
211  FORMAT('P =',F8.3/)

```

```

C
C      CALCULA F(U) EM RELAÇÃO A U(t) PARA U(t) > 0.
C
      MTT=MT+1
      H=0.0
      DO 120 I=MTT,TEMPODIA
      H=H+1.0
      FU(I)=H/(TEMPODIA-MT)
120  CONTINUE
C
C      CALCULA COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO TRUNCADO DE U(t) (U(t)>0)
C
      UMEDT=0.0
      UMEDT1=0.0
      UMEDT2=0.0
      DO 130 II=MTT,TEMPODIA
      UMEDT=UMEDT+U(II)
      IF (II.EQ.MTT) GO TO 130
      UMEDT1=UMEDT1+U(II)
      UMEDT2=UMEDT2+U(II-1)
130  CONTINUE
      UMEDT=UMEDT/(MM)
      UMEDT1=UMEDT1/(MM-1)
      UMEDT2=UMEDT2/(MM-1)
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      SOMA3=0.0
      IJIJ=0
      DO 133 IJI=1,TEMPODIA
      IF (UU(IJI).EQ.0.) GO TO 133
      IJIJ=IJIJ+1
      UUX(IJIJ)=UU(IJI)
133  CONTINUE
      DO 134 I=2,IJIJ
      SOMA1=SOMA1+((UUX(I)-UMEDT1)*(UUX(I-1)-UMEDT2))
      SOMA2=SOMA2+((UUX(I)-UMEDT1)**2)
      SOMA3=SOMA3+((UUX(I-1)-UMEDT2)**2)
134  CONTINUE
      CCU=SOMA1/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
      WRITE(4,777) UMEDT,CCU
777  FORMAT('UMEDT =',F8.3/,'CCU =',F8.5)
      STOP
      END
C
C      COLOCA OS DADOS EM ORDEM ASCENDENTE
C
      SUBROUTINE SORTX(N,XM,YM)
      DIMENSION XM(20000),YM(20000)
      K=N-1
      DO 3 L=1,K
      M=N-L
      DO 3 J=1,M
      IF (XM(J+1)-XM(J)) 2,2,3
2     XMT=XM(J)
      XM(J)=XM(J+1)
      XM(J+1)=XMT
3     CONTINUE
      M=N+1
      DO 5 J=1,N
      M=M-1
      YM(J)=XM(M)

```



```
5  CONTINUE  
   RETURN  
   END
```

ANEXO 6 – PROGRAMA EM FORTRAN DIANA2

```

C
C
C          *****
C          *                PROGRAMA - DIANA 2                *
C          *****
C
C      DESENVOLVIDO E PROGRAMADO POR RODRIGO KERN
C      JULHO DE 2009
C
C
C      OBJETIVOS:
C
C      1- CRIAR SERIES FU --> U(T) E FY --> Y(T)
C      2- ESTIMAR O PARAMETRO (RO) ATRAVES DO METODO ESTOCASTICO DE MONTE
CARLO
C      3- GERAR SERIE SINTETICA PELO MODELO ESTOCASTICO DIANA - KELMAN
C
C      *****      PROGRAMA PRINCIPAL      *****
C
C      DIMENSION Q(500,31),QM(500),QD(20000),U(2000000),UX(20000),Z(20000
*) ,FU(20000),P(20000),Y(2000000),RR(2000000),QF(2000000),T(2000000)
*,ZZ(20000),YY(20000),YYX(20000),QMF(3000,12),QAX1(36000),QAX2(3600
*) ,AKLAM(20000),PKLAM(20000),AKLAMX(20000),QMS(3000,12),MES(12),DE
*) F(1100000),QMAX(3000),QMIN(3000),DEFMAX(100),QDMAX(100),QDMIN(100)
*,QMAXMED(100),QMINMED(100),QDMAXS(100),QDMINS(100),QDMEDSERIE(100)
*,QDMEDS1(100),QDMEDS2(100),VARDS(100),DPDS(100),AUTODS(100),DELTAX
*) DS(100),DELTASDS(100),QMMAXS(100),QMMINS(100),QMMEDS(100),QMMEDS1(
*) 100),QMMEDS2(100),VARMS(100),DPMS(100),AUTOMS(100),DELTAXMS(100),D
*) ELTASMS(100),ASSDS(100),CURTDS(100),ASSMS(100),CURTMS(100),QAMS(50
*) 00),QAMS2(5000),QMA5(3000),QMA52(3000),QMMAMIN5(100),QMMAMIN52(1
*) 00),QF2(2000000),CONT(2000000)
REAL P,PP,X,B,CCTU,D,W,LAM,LAMB
INTEGER MT,MM,TEMPODIA,IANOF,IANOI,XMT,MTT,XXN,R,G,F
CHARACTER arq*12
DATA MES/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
WRITE(*,*) 'LER O NOME DO ARQUIVO DE DADOS'
READ(*,*) arq
OPEN(3,file=arq,status='old')
OPEN(4,file='resultado',status='old')
C
C      LE AS VAZOES MEDIAS DIARIAS DA SERIE HISTORICA E QMLT, BETA, LAMBDA,
COEF. CORREL. TRUNCADA DE U(T)
C
C      II=0
C      K=0
C      READ(3,01) IANOI,IANOF
01 FORMAT(2I5)
C      READ(3,02) QMLT,B,CCTU,LAM
02 FORMAT(4F8.0)
C
C      READ(3,11) KURTD,KURTM,DPDH,DPMH
11 FORMAT(4F8.0)
C
C      NA=(IANOF-IANOI)+1
C      NMES=NA*12
C      DO 20 I=IANOI,IANOF
C      IF((I/4)*4-I) 04,05,04
04 MES(2)=28
C      GO TO 06
05 MES(2)=29
06 DO 15 J=1,12

```

```

      MESS=MES(J)
      K=K+1
      QM(K)=0.0
      READ(3,07) (Q(K,L),L=1,MESS)
07  FORMAT(31X,31F8.0)
      DO 10 L=1,MESS
      II=II+1
      QD(II)=Q(K,L)
      QM(K)=QM(K)+Q(K,L)
10  CONTINUE
      QM(K)=QM(K)/MESS
15  CONTINUE
20  CONTINUE
      NDIAS=II
C
C      CALCULA SERIE U(T) E DISTRIBUIÇÃO DAS RECESSÕES
C      OBS - MT = M DO ARTIGO
C
      TEMPODIA=NDIAS-1
      MT=0
      IJKM=0
      DO 30 II=1,TEMPODIA
      U(II)=QD(II+1)/QD(II)
      IF (U(II).GT.LAM) GO TO 31
      IJKM=IJKM+1
      AKLAM(IJKM)=U(II)
      U(II)=0.0
      MT=MT+1
      GO TO 30
31  U(II)=QD(II+1)-QD(II)
30  CONTINUE
      CALL SORTX(IJKM,AKLAM,AKLAMX)
      CALL SORTX(TEMPODIA,U,UX)
      XMT=MT
      PP=XMT/10956.0
      MM=TEMPODIA-MT
      DO 32 J=1,IJKM
      BKLAM=J*1.0
      AIJKM=IJKM*1.0
      PKLAM(J)=BKLAM/(AIJKM+1.0)
32  CONTINUE
C
C      CALCULA F(U) EM RELAÇÃO A U(t) PARA U(t) > 0.
C
      MTT=MT+1
      H=0.0
      DO 40 I=MTT,TEMPODIA
      H=H+1.0
      FU(I)=H/(TEMPODIA-MT)
40  CONTINUE
C
C      CRIA Fy = P(I) E Y=Z(I)
C
      E=2.515517
      C1=0.802853
      C2=0.010328
      D1=1.432788
      D2=0.189269
      D3=0.001308
      H=0.0
      N=TEMPODIA

```

```

DO 60 I=1,MT
H=H+1.0
P(I)=H/(N+1.0)
Z(I)=B
60 CONTINUE
DO 50 J=MTT,N
H=H+1.0
P(J)=H/(N+1.0)
D=P(J)
IF (D.GT.0.5) D=1.0-D
W=SQRT(ALOG(1.0/(D**2)))
Z(J)=W-(E+C1*W+C2*W**2)/(1.0+D1*W+D2*W**2+D3*W**3)
IF (P(J).LT.0.5) Z(J)=-Z(J)
50 CONTINUE
C
C   ESTIMA RO
C
NN=NDIAS
IX=26341723
CC=0.04
S=1.0
AM=0.0
DO 80 I=1,500
CC=CC+0.001
ZZ(1)=0.
YY(1)=B
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
SOMA3=0.0
JIJ=0
DO 70 J=2,NN
C
C   PROGRAMA GAUSS
C
S = DESVIO PADRAO = 1,0
AM = MEDIA = 0,0
A=0.0
DO 90 III=1,12
CALL RRANDU(IX,IY,YT)
IX=IY
90 A=A+YT
V=(A-6.0)*S+AM
ZZ(J)=CC*ZZ(J-1)+((SQRT(1-(CC**2)))*V)
IF (ZZ(J).GT.B) GO TO 71
IF (ZZ(J).LE.B) GO TO 70
71 JIJ=JIJ+1
YY(JIJ)=ZZ(J)
70 CONTINUE
YYMED=0.0
YYMED1=0.0
YYMED2=0.0
DO 72 JI=1,JIJ
YYMED=YYMED+YY(JI)
IF (JI.EQ.1) GO TO 72
YYMED1=YYMED1+YY(JI)
YYMED2=YYMED2+YY(JI-1)
72 CONTINUE
YYMED=YYMED/JIJ
YYMED1=YYMED1/(JIJ-1)
YYMED2=YYMED2/(JIJ-1)
DO 100 JJ=2,JIJ

```

```

SOMA1=SOMA1+((YY(JJ)-YYMED1)*(YY(JJ-1)-YYMED2))
SOMA2=SOMA2+((YY(JJ)-YYMED1)**2)
SOMA3=SOMA3+((YY(JJ-1)-YYMED2)**2)
100 CONTINUE
CCTZ=SOMA1/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
ERRO=ABS((CCTU-CCTZ)/CCTU)
IF (ERRO.LT.0.001) GO TO 101
80 CONTINUE
101 WRITE (4,110) CC,LAM,B
110 FORMAT('RO =',F8.3/,'LAM =',F8.3/,'BETA =',F8.3/)
C
C   GERACAO SERIE SINTETICA - DIANA
C
C   OBS: Z(t) = R(t)
C
RR(1)=0.0
Y(1)=B
IX=26341723
S=1.0
AM=0.0
QF(1)=QMLT
NN=10957*100
DO 120 J=2,1095700
C
C   PROGRAMA GAUSS
C
C   S = DESVIO PADRAO = 1,0
C   AM = MEDIA = 0,0
A=0.0
DO 130 IIJ=1,12
CALL RRANDU(IX,IY,YT)
IX=IY
130 A=A+YT
V=(A-6.0)*S+AM
RR(J)=CC*RR(J-1)+((SQRT(1-CC**2))*V)
IF (RR(J).LE.B) GO TO 121
Y(J)=RR(J)
GO TO 120
121 Y(J)=B
120 CONTINUE
DO 140 III=2,1095700
LAMB=1.0
IF (Y(III).GT.B) GO TO 142
U(III)=0.
T(III)=U(III)
CALL RRANDU(IX,IY,YT)
IX=IY
DO 150 KLM=1,IJKM
IF(YT.GE.PKLAM(KLM).AND.YT.LE.PKLAM(KLM+1)) GO TO 152
150 CONTINUE
152 LAMB=AKLAM(KLM)
GO TO 144
142 DO 151 L=MT,NDIAS
IF (Y(III).GE.Z(L).AND.Y(III).LE.Z(L+1)) GO TO 143
151 CONTINUE
143 T(III)=U(L)
144 QF(III)=(QF(III-1)*LAMB)+T(III)
140 CONTINUE
C
C   CALCULA VAZOES MEDIAS MENSAIS DA SERIE DIARIA GERADA
C

```

```

N=36000
XN=36000.0
ICONT=0
III=0
JJJ=0
IKJ=0
DO 160 IANO=1,3000
III=III+1
IKJ=IKJ+1
IF(IKJ.EQ.30) GO TO 168
GO TO 169
168 III=0
IKJ=0
169 IF(III.EQ.4) GO TO 161
MES(2)=28
GO TO 162
161 MES(2)=29
III=0
162 F=1
MMS=0
DO 167 IJJ=1,12
JJJ=JJJ+1
SOMA=0.0
MMS=MMS+MES(IJJ)
DO 165 J=F,MMS
ICONT=ICONT+1
SOMA=SOMA+QF(ICONT)
F=1
165 CONTINUE
F=F+MMS
QMS(IANO,IJJ)=SOMA/MES(IJJ)
QAX1(JJJ)=QMS(IANO,IJJ)
IF(IANO.EQ.1.AND.IJJ.EQ.1) GO TO 167
QAX2(JJJ-1)=QMS(IANO,IJJ)
167 CONTINUE
160 CONTINUE
C
C   CALCULA MEDIA DE LONGO TERMO E ESTATISTICAS MENSAIS DE TODA SERIE
GERADA
C
NDIAS=1095700
SSQM=0.0
QMED=0.0
QMED1=0.0
QMED2=0.0
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
SOMA3=0.0
DO 170 LL=1,N
QMED=QMED+QAX1(LL)
170 CONTINUE
XXN=N-1.0
DO 171 I=2,XXN
QMED1=QMED1+QAX1(I)
QMED2=QMED2+QAX2(I)
171 CONTINUE
QMED=QMED/XN
QMED1=QMED1/(XN-1.0)
QMED2=QMED2/(XN-1.0)
DO 180 IN=1,36000
IF(IN.EQ.1) GO TO 180

```

```

SOMA1=SOMA1+(QAX1(IN)-QMED1)*(QAX2(IN)-QMED2)
SOMA2=SOMA2+((QAX1(IN)-QMED1)**2)
SOMA3=SOMA3+((QAX2(IN)-QMED2)**2)
180 CONTINUE
DO 190 K=1,N
    SSQM=SSQM+((QAX1(K)-QMED)**2)
190 CONTINUE
VARM=SSQM/(XN-1.0)
DPM=SQRT(VARM)
AUTOM=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
C
C    CALCULA ESTATISTICAS DIARIAS DE TODA SERIE GERADA
C
SSQD=0.0
QMEDD1=0.0
QMEDD2=0.0
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
SOMA3=0.0
DO 200 I=2,NDIAS
    QMEDD1=QMEDD1+QF(I)
200 CONTINUE
    QMEDD1=QMEDD1/(NDIAS-1)
    TEMPODIA=NDIAS-1
    DO 201 II=1,TEMPODIA
        QMEDD2=QMEDD2+QF(II)
201 CONTINUE
    QMEDD2=QMEDD2/(NDIAS-1)
DO 210 III=1,NDIAS
    SSQD=SSQD+(QF(III)-QMED)**2
    IF(III.LT.2)GO TO 210
    SOMA1=SOMA1+((QF(III)-QMEDD2)*(QF(III-1)-QMEDD1))
    SOMA2=SOMA2+((QF(III)-QMEDD2)**2)
    SOMA3=SOMA3+((QF(III-1)-QMEDD1)**2)
210 CONTINUE
VARD=SSQD/(NDIAS-1)
DPD=SQRT(VARD)
AUTOD=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
C
C    CALCULA ESTATISTICA DO MAXIMO DEFICIT ACUMULADO PARA SERIE
ESTOCASTICA GERADA
C
DEF(1)=0.0
DO 220 KIJ=1,100
    KKLK=1+(10957*(KIJ-1))
    KKKL=10957*KIJ
DO 221 JI=KKLK,KKKL
    DEF(JI+1)=DEF(JI)-QF(JI)+(0.8*QMLT)
    IF(DEF(JI+1).LT.0.) GO TO 222
GO TO 221
222 DEF(JI+1)=0.
221 CONTINUE
    DEF(JI+1)=0.
220 CONTINUE
C
C    ESTATISTICAS DO MAX. DEF. ACUM. (MEDIA, MAX E MIN)
C
DEFMAX(1)=0.0
DO 230 I=1,100
    KKLK=1+(10957*(I-1))
    KKKL=10957*I

```



```

        DEFMAX(I)=0.0
        DO 231 J=KKLK,KKKL
        IF(DEF(J).LE.DEFMAX(I)) GO TO 231
        DEFMAX(I)=DEF(J)
231 CONTINUE
230 CONTINUE
        SOMA1=0.0
        DEFMAXMAX=0.0
        DEFMAXMIN=100000000000.0
        DO 240 II=1,100
        SOMA1=SOMA1+DEFMAX(II)
        IF(DEFMAX(II).LE.DEFMAXMAX) GO TO 241
        DEFMAXMAX=DEFMAX(II)
241 IF(DEFMAX(II).GE.DEFMAXMIN) GO TO 240
        DEFMAXMIN=DEFMAX(II)
240 CONTINUE
        DEFMAXMED=SOMA1/100.0
C
C     ESTUDO DAS VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS MÉDIAS DIÁRIAS ANUAIS DA SÉRIE
GERADA
C
        KKI=1
        KKF=365
        JJII=0
        JJIL=0
        DO 250 JJ=1,3000
        JJII=JJII+1
        JJIL=JJIL+1
C
C     CALCULA AS VAZOES MAXIMAS E MINIMAS DE CADA ANO GERADO
C
        QMAX(JJ)=0.0
        QMIN(JJ)=10000000.0
        IF(JJ.EQ.1) GO TO 251
        IF(JJIL.EQ.30) GO TO 258
        IF(JJII.EQ.4) GO TO 259
        KKI=KKF+1
        KKF=KKI-1+365
        GO TO 251
259 KKI=KKF+1
        KKF=KKI-1+366
        JJII=0
        GO TO 251
258 JJIL=0
        JJII=0
        KKI=KKF+1
        KKF=KKI-1+365
251 DO 260 K=KKI,KKF
        IF(QF(K).GT.QMAX(JJ)) GO TO 261
        GO TO 262
261 QMAX(JJ)=QF(K)
262 IF(QF(K).LT.QMIN(JJ)) GO TO 263
        GO TO 260
263 QMIN(JJ)=QF(K)
260 CONTINUE
250 CONTINUE
C
C     CALCULA VAZOES MAXIMAS E MINIMAS DE TODA SERIE GERADA
C
        QMAXMAX=0.0
        QMAXMIN=1000000.0

```

```

        QMINMAX=0.0
        QMINMIN=1000000.0
        DO 270 I=1,3000
        IF(QMAX(I).GT.QMAXMAX) GO TO 271
        GO TO 272
271 QMAXMAX=QMAX(I)
272 IF(QMAX(I).LT.QMAXMIN) GO TO 273
        GO TO 274
273 QMAXMIN=QMAX(I)
274 IF(QMIN(I).GT.QMINMAX) GO TO 275
        GO TO 276
275 QMINMAX=QMIN(I)
276 IF(QMIN(I).LT.QMINMIN) GO TO 277
        GO TO 270
277 QMINMIN=QMIN(I)
270 CONTINUE
C
C      CALCULA AS MEDIAS DAS VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS ANUAIS DOS 30 ANOS DE
CADA UMA DAS 100 SÉRIES GERADAS
C
        DO 278 JKL=1,100
        IIKK=1+(JKL+30)
        IIKI=30+(JKL+30)
        SOMA1=0.0
        SOMA2=0.0
        DO 279 JKM=IIKK,IIKI
        SOMA1=SOMA1+QMAX(JKM)
        SOMA2=SOMA2+QMIN(JKM)
279 CONTINUE
        QMAXMED(JKL)=SOMA1/30.0
        QMINMED(JKL)=SOMA2/30.0
278 CONTINUE
        SOMA1=0.0
        SOMA2=0.0
        DO 715 I=1,100
        SOMA1=SOMA1+QMAXMED(I)
        SOMA2=SOMA2+QMINMED(I)
715 CONTINUE
        QMAXMEDMED=SOMA1/100.0
        QMINMEDMED=SOMA2/100.0
C
C      CALCULA AS MEDIAS DAS VAZÕES MÁXIMAS E MÍNIMAS PARA OS 30 ANOS DE
CADA UMA DAS 100 SÉRIES GERADAS
C
        DO 280 JI=1,100
        KKLK=1+(10957*(JI-1))
        KKKL=10957*JI
        QDMIN(JI)=1000000000.0
        QDMAX(JI)=0.0
        DO 281 JJ=KKLK,KKKL
        IF(QF(JJ).GE.QDMIN(JI)) GO TO 282
        QDMIN(JI)=QF(JJ)
282 IF(QF(JJ).LE.QDMAX(JI)) GO TO 281
        QDMAX(JI)=QF(JJ)
281 CONTINUE
280 CONTINUE
        SOMA1=0.0
        SOMA2=0.0
        DO 283 I=1,100
        SOMA1=SOMA1+QDMAX(I)
        SOMA2=SOMA2+QDMIN(I)

```

```

283 CONTINUE
   QDMAXMED=SOMA1/100.0
   QDMINMED=SOMA2/100.0
C
C   CALCULA ESTATISTICAS DIARIAS PARA CADA UMA DAS 100 SERIES GERADAS
C
   DO 290 JJI=1,100
     KKLK=1+(10957*(JJJ-1))
     KKKL=10957*JJJ
     SOMA1=0.0
     SOMA2=0.0
     SOMA3=0.0
     IJKJK=1
     DO 291 I=KKLK,KKKL
       SOMA1=SOMA1+QF(I)
       IF(IJKJK.EQ.1) GO TO 294
       SOMA2=SOMA2+QF(I-1)
       SOMA3=SOMA3+QF(I)
294 IJKJK=2
291 CONTINUE
     QDMEDSERIE(JJI)=SOMA1/10957.0
     QDMEDS1(JJI)=SOMA2/10956.0
     QDMEDS2(JJI)=SOMA3/10956.0
     SSQDS=0.0
     IJKJK=1
     DO 292 J=KKLK,KKKL
       SSQDS=SSQDS+((QF(J)-QDMEDSERIE(JJI))**2)
       IF(J.EQ.1) GO TO 295
       SOMA1=SOMA1+((QF(J)-QDMEDS2(JJI))*(QF(J-1)-QDMEDS1(JJI)))
       SOMA2=SOMA2+((QF(J)-QDMEDS2(JJI))**2)
       SOMA3=SOMA3+((QF(J-1)-QDMEDS1(JJI))**2)
295 IJKJK=2
292 CONTINUE
     VARDS(JJI)=SSQDS/(10956.0)
     DPDS(JJI)=SQRT(VARDS(JJI))
     AUTODS(JJI)=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
290 CONTINUE
     DPDSMAX=0.0
     DPDSMIN=100000000.0
     VARDSMAX=0.0
     VARDSMIN=10000000000.0
     AUDODSMAX=0.0
     AUTODSMIN=10000000.0
     QDMEDSMAX=0.0
     QDMEDSMIN=10000000.0
     SOMA1=0.0
     SOMA2=0.0
     SOMA3=0.0
     SOMA4=0.0
     DO 300 JJI=1,100
       SOMA1=SOMA1+QDMEDSERIE(JJI)
       SOMA2=SOMA2+DPDS(JJI)
       SOMA3=SOMA3+VARDS(JJI)
       SOMA4=SOMA4+AUTODS(JJI)
       IF(DPDS(JJI).LE.DPDSMAX) GO TO 301
       DPDSMAX=DPDS(JJI)
301 IF(DPDS(JJI).GE.DPDSMIN) GO TO 302
       DPDSMIN=DPDS(JJI)
302 IF(VARDS(JJI).LE.VARDSMAX) GO TO 303
       VARDSMAX=VARDS(JJI)
303 IF(VARDS(JJI).GE.VARDSMIN) GO TO 304

```

```

        VARDSMIN=VARDS(JJI)
304 IF(AUTODS(JJI).LE.AUTODSMAX) GO TO 305
    AUTODSMAX=AUTODS(JJI)
305 IF(AUTODS(JJI).GE.AUTODSMIN) GO TO 306
    AUTODSMIN=AUTODS(JJI)
306 IF(QDMEDSERIE(JJI).LE.QDMEDSMAX) GO TO 307
    QDMEDSMAX=QDMEDSERIE(JJI)
307 IF(QDMEDSERIE(JJI).GE.QDMEDSMIN) GO TO 300
    QDMEDSMIN=QDMEDSERIE(JJI)
300 CONTINUE
    QDMEDMEDS=SOMA1/100.0
    DPDSMED=SOMA2/100.0
    VARDSMED=SOMA3/100.0
    AUTODSMED=SOMA4/100.0
    DO 310 KJ=1,100
        DELTAXDS(KJ)=ABS(QDMEDSERIE(KJ)-QMLT)/(DPDH*(30**0.5))
        DELTASDS(KJ)=ABS(DPDS(KJ)-DPDH)/(DPDH/2)
310 CONTINUE
    DELTAXDSMAX=0.0
    DELTASDSMAX=0.0
    DO 311 LM=1,100
        IF(DELTAXDS(LM).LE.DELTAXDSMAX) GO TO 313
        DELTAXDSMAX=DELTAXDS(LM)
313 IF(DELTASDS(LM).LE.DELTASDSMAX) GO TO 311
        DELTASDSMAX=DELTASDS(LM)
311 CONTINUE
C
C     CALCULA ESTATISITCAS MENSAIS PARA CADA UMA DAS 100 SERIES GERADAS
C
    DO 320 KK=1,100
        LMNK=1+(360*(KK-1))
        LMNI=360*KK
        IKKKK=1
        SOMA1=0.0
        SOMA2=0.0
        SOMA3=0.0
        QMMAXS(KK)=0.0
        QMMINS(KK)=100000000.0
        DO 321 JK=LMNK,LMNI
            SOMA1=SOMA1+QAX1(JK)
            IF(IKKKK.EQ.1) GO TO 324
            SOMA2=SOMA2+QAX1(JK)
            SOMA3=SOMA3+QAX1(JK-1)
324 IKKKK=2
            IF(QAX1(JK).LE.QMMAXS(KK)) GO TO 323
            QMMAXS(KK)=QAX1(JK)
323 IF(QAX1(JK).GE.QMMINS(KK)) GO TO 321
            QMMINS(KK)=QAX1(JK)
321 CONTINUE
            QMMEDS(KK)=SOMA1/360.0
            QMMEDS1(KK)=SOMA2/359.0
            QMMEDS2(KK)=SOMA3/359.0
            IKKKK=1
            SOMA1=0.0
            SOMA2=0.0
            SOMA3=0.0
            SSQMS=0.0
            DO 322 J=LMNK,LMNI
                SSQMS=SSQMS+((QAX1(J)-QMMEDS(KK))**2)
                IF(IKKKK.EQ.1) GO TO 325
                SOMA1=SOMA1+((QAX1(J)-QMMEDS1(KK))*(QAX1(J-1)-QMMEDS2(KK)))

```

```

SOMA2=SOMA2+((QAX1(J)-QMMEDS1(KK))**2)
SOMA3=SOMA3+((QAX1(J-1)-QMMEDS2(KK))**2)
325 IKKKK=2
322 CONTINUE
VARMS(KK)=SSQMS/(359.0)
DPMS(KK)=SQRT(VARMS(KK))
AUTOMS(KK)=(SOMA1)/(SQRT(SOMA2)*SQRT(SOMA3))
IKKKK=0
320 CONTINUE
DPMSMAX=0.0
DPMSMIN=100000000.0
VARSMAX=0.0
VARSMIN=10000000000.0
AUDOMSMAX=0.0
AUTOMSMIN=10000000.0
QMMAXSMAX=0.0
QMMAXSMIN=10000000.0
QMMINSMAX=0.0
QMMINSMIN=10000000.0
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
SOMA3=0.0
DO 330 JJI=1,100
SOMA1=SOMA1+DPMS(JJI)
SOMA2=SOMA2+VARMS(JJI)
SOMA3=SOMA3+AUTOMS(JJI)
IF(DPMS(JJI).LE.DPMSMAX) GO TO 331
DPMSMAX=DPMS(JJI)
331 IF(DPMS(JJI).GE.DPMSMIN) GO TO 332
DPMSMIN=DPMS(JJI)
332 IF(VARMS(JJI).LE.VARSMAX) GO TO 333
VARSMAX=VARMS(JJI)
333 IF(VARMS(JJI).GE.VARSMIN) GO TO 334
VARSMIN=VARMS(JJI)
334 IF(AUTOMS(JJI).LE.AUTOMSMAX) GO TO 335
AUTOMSMAX=AUTOMS(JJI)
335 IF(AUTOMS(JJI).GE.AUTOMSMIN) GO TO 336
AUTOMSMIN=AUTOMS(JJI)
336 IF(QMMAXS(JJI).LE.QMMAXSMAX) GO TO 337
QMMAXSMAX=QMMAXS(JJI)
337 IF(QMMAXS(JJI).GE.QMMAXSMIN) GO TO 338
QMMAXSMIN=QMMAXS(JJI)
338 IF(QMMINS(JJI).LE.QMMINSMAX) GO TO 339
QMMINSMAX=QMMINS(JJI)
339 IF(QMMINS(JJI).GE.QMMINSMIN) GO TO 330
QMMINSMIN=QMMINS(JJI)
330 CONTINUE
DPMSMED=SOMA1/100.0
VARSMED=SOMA2/100.0
AUTOMSMED=SOMA3/100.0
DO 340 KJ=1,100
DELTAXMS(KJ)=ABS(QMMEDS(KJ)-QMLT)/(DPMH*(30**0.5))
DELTASMS(KJ)=ABS(DPMS(KJ)-DPMH)/(DPMH/2)
340 CONTINUE
DELTAXMSMAX=0.0
DELTASMSMAX=0.0
DO 341 LM=1,100
IF(DELTAXMS(LM).LE.DELTAXMSMAX) GO TO 344
DELTAXMSMAX=DELTAXMS(LM)
344 IF(DELTASMS(LM).LE.DELTASMSMAX) GO TO 341
DELTASMSMAX=DELTASMS(LM)

```

```

341 CONTINUE
C
C      CALCULA MOMENTOS DE TERCEIRA E QUARTA ORDEM DIARIO --> ASSIMETRIA E
KURTOSE
C
      DO 420 J=1,100
      KIJLM=1+(10957*(J-1))
      KIJLN=10957*J
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      DO 421 JI=KIJLM,KIJLN
      SOMA1=SOMA1+((QF(JI)-QDMEDSERIE(J))**3)
      SOMA2=SOMA2+((QF(JI)-QDMEDSERIE(J))**4)
421 CONTINUE
      ASSDS(J)=(1.0/10957.0)*(SOMA1/(DPDS(J)**3))
      CURTDS(J)=(1.0/10957.0)*(SOMA2/(DPDS(J)**4))
420 CONTINUE
C
C      CALCULA MOMENTOS DE TERCEIRA E QUARTA ORDEM MENSAL --> ASSIMETRIA E
KURTOSE
C
      DO 422 J=1,100
      KIJLM=1+(360*(J-1))
      KIJLN=360*J
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      DO 423 JI=KIJLM,KIJLN
      SOMA1=SOMA1+((QAX1(JI)-QMMEDS(J))**3)
      SOMA2=SOMA2+((QAX1(JI)-QMMEDS(J))**4)
423 CONTINUE
      ASSMS(J)=(1.0/360.0)*(SOMA1/(DPMS(J)**3))
      CURTMS(J)=(1.0/360.0)*(SOMA2/(DPMS(J)**4))
422 CONTINUE
      ASSMSMAX=0.0
      ASSMSMIN=1000000000.0
      ASSDSMAX=0.0
      ASSDSMIN=10000000.0
      CURTDSMAX=0.0
      CURTDSMIN=100000000.0
      CURTMSMAX=0.0
      CURTMSMIN=100000000.0
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      SOMA3=0.0
      SOMA4=0.0
      DO 430 KL=1,100
      SOMA1=SOMA1+ASSMS(KL)
      SOMA2=SOMA2+CURTMS(KL)
      SOMA3=SOMA3+ASSDS(KL)
      SOMA4=SOMA4+CURTDS(KL)
      IF (ASSMS(KL).LE.ASSMSMAX) GO TO 431
      ASSMSMAX=ASSMS(KL)
431 IF (ASSMS(KL).GE.ASSMSMIN) GO TO 432
      ASSMSMIN=ASSMS(KL)
432 IF (CURTMS(KL).LE.CURTMSMAX) GO TO 433
      CURTMSMAX=CURTMS(KL)
433 IF (CURTMS(KL).GE.CURTMSMIN) GO TO 434
      CURTMSMIN=CURTMS(KL)
434 IF (ASSDS(KL).LE.ASSDSMAX) GO TO 435
      ASSDSMAX=ASSDS(KL)
435 IF (ASSDS(KL).GE.ASSDSMIN) GO TO 436

```

```

      ASSDSMIN=ASSDS(KL)
436 IF(CURTDS(KL).LE.CURTDSMAX) GO TO 437
      CURTDSMAX=CURTDS(KL)
437 IF(CURTDS(KL).GE.CURTDSMIN) GO TO 430
      CURTDSMIN=CURTDS(KL)
430 CONTINUE
      ASSMSMED=SOMA1/100.0
      CURTSMED=SOMA2/100.0
      ASSDSMED=SOMA3/100.0
      CURTDSMED=SOMA4/100.0
C
C      CALCULA MÉDIAS MÓVEIS DE 5 ANOS COM E SEM CENSURA EM QMAX=2*QMLT
C
      QC=2.0*QMLT
      JANO=0
      LANO=0
      LF=0
      DO 440 I=1,3000
      KI=1+(12*(I-1))
      KF=12*I
      SOMA=0.0
      DO 441 J=KI,KF
      SOMA=SOMA+QAX1(J)
441 CONTINUE
      QAMS(I)=SOMA/12.0
      JANO=JANO+1
      LANO=LANO+1
      SOMA2=0.0
      IF(JANO.EQ.4) GO TO 891
      LI=1+LF
      LF=LI+365-1
      CANO=365.0
      GO TO 892
891 LI=1+LF
      LF=LI+366-1
      CANO=366.0
892 DO 889 LK=LI,LF
      IF(QF(LK).LE.QC) GO TO 895
      QF2(LK)=QC
      GO TO 899
895 QF2(LK)=QF(LK)
899 SOMA2=SOMA2+QF2(LK)
889 CONTINUE
      QAMS2(I)=SOMA2/CANO
      IF(JANO.EQ.4) GO TO 890
      GO TO 894
890 JANO=0
894 IF(LANO.EQ.30) GO TO 893
      GO TO 440
893 LANO=0
      JANO=0
440 CONTINUE
C
C      MEDIA MOVEL DE 5 ANOS
C
      DO 442 I=1,100
      MI=1+(26*(I-1))
      MF=26*I
      NMK=(30*(I-1))
      DO 443 J=MI,MF
      NMK=NMK+1

```

```

        QMMA5(J)=(QAMS(NMK)+QAMS(NMK+1)+QAMS(NMK+2)+QAMS(NMK+3)+QAMS(NMK+4
        *))/5.0
        QMMA52(J)=(QAMS2(NMK)+QAMS2(NMK+1)+QAMS2(NMK+2)+QAMS2(NMK+3)+QAMS2
        *(NMK+4))/5.0
443 CONTINUE
442 CONTINUE
        DO 444 I=1,100
        QMMAMIN5(I)=1000000000.0
        QMMAMIN52(I)=1000000000.0
        MI=1+(26*(I-1))
        MF=26*I
        DO 445 J=MI,MF
        IF(QMMA5(J).GE.QMMAMIN5(I)) GO TO 447
        QMMAMIN5(I)=QMMA5(J)
447 IF(QMMA52(J).GE.QMMAMIN52(I)) GO TO 445
        QMMAMIN52(I)=QMMA52(J)
445 CONTINUE
444 CONTINUE
        QMMAMINMIN5=1000000000.0
        QMMAMINMIN52=1000000000.0
        SOMA1=0.0
        SOMA2=0.0
        DO 446 L=1,100
        SOMA1=SOMA1+QMMAMIN5(L)
        SOMA2=SOMA2+QMMAMIN52(L)
        IF(QMMAMIN5(L).GE.QMMAMINMIN5) GO TO 448
        QMMAMINMIN5=QMMAMIN5(L)
448 IF(QMMAMIN52(L).GE.QMMAMINMIN52) GO TO 446
        QMMAMINMIN52=QMMAMIN52(L)
446 CONTINUE
        QMMAMED5=SOMA1/100.0
        QMMAMED52=SOMA2/100.0
C
C     CALCULO DOS DIAS DE RECESSAO DE CADA UMA DAS 100 SERIES - MEDIA,MAX
C
        CONT(1)=0.0
        JKM=1
        DO 480 II=2,1095700
        IF(QF(II).GT.QF(II-1)) GO TO 481
        CONT(JKM)=CONT(JKM)+1.0
        GO TO 480
481 JKM=JKM+1
        CONT(JKM)=0.0
480 CONTINUE
        SOMA=0.0
        RECMAX=0.0
        DO 482 J=1,JKM
        SOMA=SOMA+(CONT(J))
        IF(CONT(J).LT.RECMAX) GO TO 482
        RECMAX=CONT(J)
482 CONTINUE
        RECMED=SOMA/(JKM*1.0)
C
C     ESCREVE SAIDA DO PROGRAMA
C
        WRITE(4,492) QDMEDMEDS,QMED,DPM,VARM,AUTOM,DPD,VARD,AUTOD,DEFMAXMAX
        *,DEFMAXMIN,DEFMAXMED,QMAXMAX,QMAXMIN,QMINMAX,QMINMIN,QMAXMEDMED,QM
        *INMEDMED,QDMAXMED,QDMINMED,DPDSMED,DPDSMAX,DPDSMIN,VARDSMED,VARDSM
        *AX,VARDSMIN,AUTODSMED,AUTODSMAX,AUTODSMIN,QDMEDMEDS,QDMEDSMAX,QDME
        *DSMIN,DELTAXDSMAX,DELTASDSMAX,QMMAXSMAX,QMMAXSMIN,QMMINSMAX,QMMIN
        *SMIN,DPMSMED,DPMSMAX,DPMSMIN,VARMSMED,VARMSMAX,VARMSMIN,AUTOMSMED,A

```



```

*UTOMSMAX,AUTOMSMIN,DELTAXMSMAX,DELTASMSMAX,ASSMSMAX,ASSMSMIN,ASSMS
*MED,CURTMSMAX,CURTMSMIN,CURTMSMED,ASSDSMAX,ASSDSMIN,ASSDSMED,CURTD
*SMAX,CURTDSMIN,CURTDSMED,RECMAX,RECMED,QMMAMED5,QMMAMED52,QMMAMINM
*IN5,QMMAMINMIN52
492 FORMAT('QDMEDMEDS=',F10.3/,'QMED=',F10.3/,'DPM=',F10.3/,'VARM='
*,F10.3/,'AUTOM=',F10.3/,'DPD=',F10.3/,'VARD=',F10.3/,'AUTOD=',F
*10.3/,'DEFMAXMAX=',F15.3/,'DEFMAXMIN=',F15.3/,'DEFMAXMED=',F15.3/
*, 'QMAXMAX=',F10.3/,'QMAXMIN=',F10.3/,'QMINMAX=',F10.3/,'QMINMIN=',F
*10.3/,'QMAXMEDMED=',F10.3/,'QMINMEDMED=',F10.3/,'QDMAXMED=',F10.3/
*, 'QDMINMED=',F10.3/,'DPDSMED=',F10.3/,'DPDSMAX=',F10.3/,'DPDSMIN='
*'F10.3/,'VARDSMED=',F15.3/,'VARDSMAX=',F15.3/,'VARDSMIN=',F15.3/,'
*AUTODSMED=',F10.3/,'AUTODSMAX=',F10.3/,'AUTODSMIN=',F10.3/,'QDMEDM
*EDS=',F10.3/,'QDMEDSMAX=',F10.3/,'QDMEDSMIN=',F10.3/,'DELTAXDSMAX
*=',F10.3/,'DELTASDSMAX=',F10.3/,'QMMAXSMAX=',F10.3/,'QMMAXSMIN=',F1
*0.3/,'QMMINSMAX=',F10.3/,'QMMINSMIN=',F10.3/,'DPMSMED=',F10.3/,'DP
*MSMAX=',F10.3/,'DPMSMIN=',F10.3/,'VARMSMED=',F15.3/,'VARMSMAX=',F1
*5.3/,'VARMSMIN=',F15.3/,'AUTOMSMED=',F10.3/,'AUTOMSMAX=',F10.3/,'A
*UTOMSMIN=',F10.3/,'DELTAXMSMAX=',F10.3/,'DELTASMSMAX=',F10.3/,'ASS
*MSMAX=',F10.3/,'ASSMSMIN=',F10.3/,'ASSMSMED=',F10.3/,'KURTMSMAX='
*'F10.3/,'KURTMSMIN=',F10.3/,'KURTSMED=',F10.3/,'ASSDSMAX=',F10.3/,'
*ASSDSMIN=',F10.3/,'ASSDSMED=',F10.3/,'KURTDSMAX=',F10.3/,'KURTDSMI
*N=',F10.3/,'KURTDSMED=',F10.3/,'RECMAX=',F10.3/,'RECMED=',F10.2/
*, 'QMMAMED5=',F10.3/,'QMMAMED52=',F10.3/,'QMMAMIN5=',F10.3/,'QMM
*AMIN52=',F10.3)
STOP
END

C
C      GERA N(0,1)
C
C      SUBROTINA RANDU
C
      SUBROUTINE RANDU(ISEED,IY,RN)
      IY=ISEED*65539
      IF(IY) 5,10,10
5      IY=IY+2147483647+1
10     RN=IY
      RN=RN*.4656613E-9
      IF(RN.LT.0.0) RN=RN+1
      RETURN
      END

C
C      COLOCA OS DADOS EM ORDEM ASCENDENTE
C
      SUBROUTINE SORTX(N,XM,YM)
      DIMENSION XM(20000),YM(20000)
      K=N-1
      DO 3 L=1,K
      M=N-L
      DO 3 J=1,M
      IF (XM(J+1)-XM(J)) 2,2,3
2      XMT=XM(J)
      XM(J)=XM(J+1)
      XM(J+1)=XMT
3      CONTINUE
      M=N+1
      DO 5 J=1,N
      M=M-1
      YM(J)=XM(M)
5      CONTINUE
      RETURN
      END

```

ANEXO 7 – PROGRAMA EM FORTRAN REGMULT

```

C
C *****
C          PROGRAMA REGRESSAO MULTIPLA
C *****
C
C          PROGRAMADO POR RODRIGO KERN
C
C          JANEIRO DE 2010
C
C          OBS: CALCULA REGRESSAO MULTIPLA ATE 13 PARAMETROS E
C          TESTES DE SIGNIFICANCIA: R2, R, VAR, DP, t STUDENT, F, NORMALIDADE
DOS RESIDUOS,
C          MATRIZ DE COVARIANCIA PARA TESTE DE HETEROSCETASTICIDADE
C
C          DIMENSION X(500,13),A(144),L1(12),M1(12),Y(500,1),XT(13,500),XTX(1
*3,13),XTXIN(13,13),XTY(13,1),BETA(13),YEST(500),YO(500),YE(500),CO
*V(13,13),T(13),XTV(6500),XV(6500),YV(500),XTXV(169),XTXI(169),XTYV
*(169)
C          CHARACTER ARQ*11
C          WRITE(*,*)'LE O NOME DO ARQUIVO DE DADOS'
C          READ(*,'(A)') ARQ
C          OPEN(3,FILE=ARQ,STATUS='OLD')
C          OPEN(4,FILE='RESULTADO',STATUS='OLD')
C
C
C          LE O NUMERO DE VARIAVEIS INDEPENDENTES E O NUMERO DE AMOSTRAS
C
C          READ(3,02) N,NA
C          02 FORMAT(I3,I5)
C          WRITE(4,500) N,NA
C          500 FORMAT(I10,I10)
C
C          LE AS VARIAVEIS INDEPENDENTES E A VARIABEL DEPENDENTE DEPOIS
C
C          DO 230 I=1,NA
C          READ(3,231) Y(I,1)
C          231 FORMAT(16X,F8.0)
C          WRITE(4,501) Y(I,1)
C          501 FORMAT('Y = ',F10.3)
C          230 CONTINUE
C          DO 03 I=1,NA
C          YV(I)=Y(I,1)
C          READ(3,04) (X(I,J),J=1,N)
C          04 FORMAT(16X,13F8.0)
C          03 CONTINUE
C          JK=0
C          DO 343 KL=1,NA
C          DO 344 LK=1,N
C          JK=JK+1
C          XV(JK)=X(KL,LK)
C          WRITE(4,502) X(KL,LK),XV(JK)
C          502 FORMAT('X = ',F10.3,'      XV = ',F10.3)
C          344 CONTINUE
C          343 CONTINUE
C

```

```

C      CONVERTE A MATRIZ X EM MATRIZ TRANSPOSTA DE X
C
      JK=0
      DO 05 I=1,N
      DO 06 J=1,NA
      JK=JK+1
      XT(I,J)=X(J,I)
      XTV(JK)=XT(I,J)
      WRITE(4,800) XT(I,J),XTV(JK)
800  FORMAT('XT = ',F10.3,'      XTV = ',F10.3)
      06 CONTINUE
      05 CONTINUE

C
C      MULTIPLICA A MATRIZ XT PELA MATRIZ X E CALCULA A INVERSA (XTXIN)
C
      CALL MPRD(XV,XTV,XTXV,N,NA,N)
      JK=0
      DO 07 I=1,N
      DO 08 J=1,N
      JK=JK+1
      XTXI(JK)=XTXV(JK)
      WRITE(4,999) XTV(JK),XTXI(JK)
999  FORMAT('XTXV = ',F10.3,'      XTXI = ',F10.3)
      08 CONTINUE
      07 CONTINUE
      CALL MINV(XTXI,N,D,L1,M1)
      JK=0
      DO 09 I=1,N
      DO 10 J=1,N
      JK=JK+1
      XTXIN(I,J)=XTXI(JK)
      WRITE(4,997) XTXI(JK),XTXIN(I,J)
997  FORMAT('XTXI = ',F10.3,'      XTXIN = ',F10.3)
      10 CONTINUE
      09 CONTINUE

C
C      MULTIPLICA A MATRIZ XT PELA MATRIZ COLUNA Y
C
      JK=1
      CALL MPRD(XV,YV,XTYV,N,NA,JK)

C
C      CALCULA COEFICIENTES BETA --> MULTIPLICA A MATRIZ XTXIN PELA MATRIZ
C      COLUNA XTY
C
      CALL MPRD(XTXI,XTYV,BETA,N,N,JK)
      DO 11 J=1,N
      WRITE(4,12) XTYV(J),BETA(J)
12  FORMAT('XTY = ',F15.5,'      BETA(I) = ',F15.5)
11  CONTINUE

C
C      CALCULA MATRIZ YEST PELOS PARAMETROS DE BETA CALCULADOS
C
      CALL MPRD(XTV,BETA,YEST,NA,N,JK)

C
C      INFERENCIA ESTATISTICA DA REGRESSAO
C
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
      SOMA3=0.0
      SOMA4=0.0
      DO 14 I=1,NA

```

```

        YO(I)=EXP(YV(I))
        YE(I)=EXP(YEST(I))
        WRITE(4,569) YO(I),YE(I)
569  FORMAT(F10.3,' ',F10.3)
        SOMA1=SOMA1+(YO(I)-YE(I))
        SOMA2=SOMA2+((YO(I)-YE(I))**2)
        SOMA3=SOMA3+(((YO(I)-YE(I))**2)/YE(I))
        SOMA4=SOMA4+YO(I)
14  CONTINUE
        YMED=SOMA4/(NA*1.0)
        SOMA=0.0
        DO 15 I=1,NA
        SOMA=SOMA+((YO(I)-YMED)**2)
15  CONTINUE
        S2=SOMA2/((NA-N)*1.0)
        R2=1-(SOMA2/SOMA)
        R=R2**0.5
        TNORM=SOMA3
        F=(R2/((N-1)*1.0))/((1-R2)/((NA-N)*1.0))
        WRITE(4,100) R2,R,S2,TNORM,F
100  FORMAT('R2 =',F15.5/,'R =',F15.5/,'S2 =',F15.5/,'TNORM =',F15.5/,'
        *F =',F15.5)
        DO 16 I=1,N
        DO 17 J=1,N
        COV(I,J)=S2*XTXIN(I,J)
17  CONTINUE
        T(I)=BETA(I)/(SQRT(COV(I,I)))
        WRITE(4,101) T(I),COV(I,I)
101  FORMAT('T(I) =',F15.5,' COV(I,I) =',F15.8)
16  CONTINUE
        STOP
        END

```

```

C
C      SUBROTINA MINV
C
C      PROPOSITO: INVERSAO DE MATRIZES
C

```

```

        SUBROUTINE MINV(A,N,D,L,M)
        DIMENSION A(144),L(12),M(12)
        D=1.0
        NK=-N
        DO 80 K=1,N
        NK=NK+N
        L(K)=K
        M(K)=K
        KK=NK+K
        BIGA=A(KK)
        DO 20 J=K,N
        IZ=N*(J-1)
        DO 20 I=K,N
        IJ=IZ+I
10  IF(ABS(BIGA)-ABS(A(IJ))) 15,20,20
15  BIGA=A(IJ)
        L(K)=I
        M(K)=J
20  CONTINUE
        J=L(K)
        IF(J-K) 35,35,25
25  KI=K-N
        DO 30 I=1,N
        KI=KI+N

```

```

        HOLD=-A(KI)
        JI=KI-K+J
        A(KI)=A(JI)
30  A(JI)=HOLD
35  I=M(K)
        IF(I-K) 45,45,38
38  JP=N*(I-1)
        DO 40 J=1,N
            JK=NK+J
            JI=JP+J
            HOLD=-A(JK)
            A(JK)=A(JI)
40  A(JI)=HOLD
45  IF(BIGA) 48,46,48
46  D=0.0
        RETURN
48  DO 55 I=1,N
        IF(I-K) 50,55,50
50  IK=NK+I
        A(IK)=A(IK)/(-BIGA)
55  CONTINUE
        DO 65 I=1,N
            IK=NK+I
            HOLD=A(IK)
            IJ=I-N
            DO 65 J=1,N
                IJ=IJ+N
                IF(I-K) 60,65,60
60  IF(J-K) 62,65,62
62  KJ=IJ-I+K
        A(IJ)=HOLD*A(KJ)+A(IJ)
65  CONTINUE
        KJ=K-N
        DO 75 J=1,N
            KJ=KJ+N
            IF(J-K) 70,75,70
70  A(KJ)=A(KJ)/BIGA
75  CONTINUE
        D=D*BIGA
        A(KK)=1.0/BIGA
80  CONTINUE
        K=N
100 K=K-1
        IF(K) 150,150,105
105 I=L(K)
        IF(I-K) 120,120,108
108 JQ=N*(K-1)
        JR=N*(I-1)
        DO 110 J=1,N
            JK=JQ+J
            HOLD=A(JK)
            JI=JR+J
            A(JK)=-A(JI)
110 A(JI)=HOLD
120 J=M(K)
        IF(J-K) 100,100,125
125 KI=K-N
        DO 130 I=1,N
            KI=KI+N
            HOLD=A(KI)
            JI=KI-K+J

```

```

        A(KI)=-A(JI)
130  A(JI)=HOLD
        GO TO 100
150  RETURN
        END
C
C      SUBROTINA MPRD
C
C      MULTIPLICA DUAS MATRIZES PARA FORMAR UMA MATRIZ RESULTANTE
C
C      DESCRICAO DOS PARAMETROS
C          A  -  PRIMEIRA MATRIZ DADA
C          B  -  SEGUNDA MATRIZ DADA
C          R  -  MATRIZ RESULTANTE DE A*B
C          N  -  NUMERO DE LINHAS EM A E R
C          M  -  NUMERO DE COLUNAS EM A
C          L  -  NUMERO DE COLUNAS EM B E R
C
C      SUBROUTINE MPRD(A,B,R,N,M,L)
C      DIMENSION A(6500),B(6500),R(169)
C      IR=1
C      DO 90 K=1,L
C      DO 90 J=1,N
C      R(IR)=0
C      DO 80 I=1,M
C      IA=N*(I-1)+J
C      IB=M*(K-1)+I
C      R(IR)=R(IR)+A(IA)*B(IB)
80  CONTINUE
90  IR=IR+1
        RETURN
        END

```

ANEXO 8 – PROGRAMA EM FORTRAN EMED


```

C
C *****
C      PROGRAMA ESTATÍSTICA DE VAZÕES MÉDIAS MENSIS E DIARIAS
C *****
C
C      - DESENVOLVIDO E PROGRAMADO POR RODRIGO KERN
C      - AGOSTO 2009
C
C      OBJETIVOS:
C
C      1. CALCULAR AS ESTATÍSTICAS DA SÉRIE HISTÓRICA PARA GERAÇÃO
ESTOCASTICA NOS MODELOS DIANA E SOSN
C      2. CALCULA ESTATÍSTICAS MENSIS E DIARIAS - MÉDIA DE LONGO TERMO,
DP, VAR. E AUTO-CORRELAÇÃO
C      3. CALCULA MÁXIMO DÉFICIT ACUMULADO E SUAS ESTATÍSTICAS - MÉDIA, DP
E VAR.
C
C ***** PROGRAMA PRINCIPAL *****
C
C      DIMENSION Q(500,31),QD(200000),M(12),E(200000),QE(200000)
C      CHARACTER arq*12
C      DATA M/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
C      WRITE(*,*) 'LER O NOME DO ARQUIVO DE DADOS'
C      READ(*,*) arq
C      OPEN(3,file=arq,status='old')
C      OPEN(4,file='resultado',status='old')
C
C      LE AS VAZÕES MÉDIAS DIARIAS DA SÉRIE HISTÓRICA
C
C      II=0
C      K=0
C      READ(3,01) IANOI,IANOF
01  FORMAT(2I5)
C      NA=(IANOF-IANOI)+1
C      NMES=NA*12
C      DO 20 I=IANOI,IANOF
C      IF((I/4)*4-I) 04,05,04
04  M(2)=28
C      GO TO 06
05  M(2)=29
06  DO 15 J=1,12
C      MES=M(J)
C      K=K+1
C      READ(3,07) (Q(K,L),L=1,MES)
07  FORMAT(31X,31F8.0)
C      DO 10 L=1,MES
C      II=II+1
C      QD(II)=Q(K,L)
10  CONTINUE
15  CONTINUE
20  CONTINUE
C      NDIAS=II
C      KDIAS=NDIAS-31
C      KKDIAS=KDIAS-120
C
C      CALCULA VAZÃO MÉDIA DE LONGO TERMO
C
C      SOMA=0.0
C      DO 29 I=120,KDIAS
C      SOMA=SOMA+QD(I)

```

```

29 CONTINUE
   QMLT=SOMA/(KKDIAS*1.0)
C
C   CALCULA ENERGIA MÉDIA DIÁRIA
C
   DO 30 I=121,KDIAS
   QE(I)=QD(I)-1.2
   IF(QE(I).LT.5.46) GO TO 31
   IF(QE(I).GT.36.44) GO TO 32
   GO TO 33
31 QE(I)=0.0
   GO TO 33
32 QE(I)=36.44
33 E(I)=(QE(I)*29.51*9.81*0.897)/1000.0
   write(4,999) qe(i),e(i)
999 format('qe =',f10.2,'      e =',f10.2)
30 CONTINUE
C
C   CALCULA ENERGIA MÉDIA DO PERÍODO CRÍTICO
C
   SOMA1=0.0
   DO 40 I=120,KDIAS
   SOMA1=SOMA1+E(I)
40 CONTINUE
   EM=(SOMA1*0.97)/(KKDIAS*1.0)
C
C   ESCREVE SAIDA DO PROGRAMA
C
   WRITE(4,522) QMLT,EM
522 FORMAT('QMLT ='F10.2/,'EM ='F10.2)
STOP
END

```

ANEXO 9 – PROGRAMA EM FORTRAN EGI

```

C
C
*****
*****
C      PROGRAMA SOSN 2 - GERACAO DE VAZoes MEDIAS DIARIAS E CALCULOS DE
SUAS ESTATISTICAS
C
*****
*****
C
C      - DESENVOLVIDO E PROGRAMADO POR RODRIGO KERN
C      - AGOSTO DE 2009
C
C      OBJETIVOS:
C
C      1. GERAR SERIE DE VAZoes MEDIAS DIARIAS PELO MODELO ESTOCASTICO SOSN
C      2. CALCULAR ENERGIA MÉDIA ANUAL CENSURADA NA ESCALA DIÁRIA
C      3. CALCULAR O DESVIO PADRAO DA SÉRIE DE ENERGIA GERADA
C
C
C      ***** PROGRAMA PRINCIPAL *****
C
C      DIMENSION T(1000),X1R1(2),X1R2(2),X2R1(2),X2R2(2),W(1000),TAL(1000
*) ,Y1(1000),Y2(1000),A1R1(1000),A2R2(1000),A1R2(1000),A2R1(1000),QD
*(11000000),QE(11000000),E(11000000),EMA(50)
C      REAL NI
C      INTEGER R,G,NDIAS,TEMPODIA,F
C      CHARACTER ARQ*11
C
C      WRITE(*,*) 'LE O NOME DO ARQUIVO DE DADOS'
C      READ(*,'(A)') ARQ
C      OPEN(3,FILE=ARQ,STATUS='OLD')
C      OPEN(4,FILE='RESULTADO',STATUS='OLD')
C
C      LÊ OS PARÂMETROS DO MODELO ESTOCÁSTICO SOSN
C
C      READ(3,05) B1,B2,QMLT,T1,T2,NI
05  FORMAT(6F8.0)
C      IX=26341723
C      X1R1(1)=0.0
C      X1R2(1)=0.0
C      X2R1(1)=QMLT
C      X2R2(1)=QMLT*0.5
C      QD(1)=QMLT+(QMLT*0.5)
C      QDMIN=10000000.0
C      QDMAX=0.0
C      DO 20 I=2,1095750
C      X1R1(2)=(1/B1)*(1-EXP(-B1))*X2R1(1)
C      X1R2(2)=(1/B2)*(1-EXP(-B2))*X2R2(1)
C      X2R1(2)=(EXP(-B1))*X2R1(1)
C      X2R2(2)=(EXP(-B2))*X2R2(1)
C      T(1)=0.0
C      TAL(1)=0.0
C      A1R1(1)=0.0
C      A1R2(1)=0.0
C      A2R1(1)=0.0
C      A2R2(1)=0.0
C      DO 10 J=2,1000
C      CALL RRANDU(IX,IY,U)
C      IX=IY

```

```

W(J)=(1/NI)*(-LOG(U))
TAL(J)=TAL(J-1)+W(J)
IF(TAL(J).GT.1) GO TO 15
CALL RRANDU(IX,IY,U)
IX=IY
Y1(J)=T1*(-LOG(U))
Y2(J)=T2*(-LOG(U))
A1R1(J)=A1R1(J-1)+(1/B1)*(Y1(J))*(1-EXP(-B1*(T(J-1)+1-TAL(J))))
A1R2(J)=A1R2(J-1)+(1/B2)*(Y2(J))*(1-EXP(-B2*(T(J-1)+1-TAL(J))))
A2R1(J)=A2R1(J-1)+(Y1(J))*(EXP(-B1*(T(J-1)+1-TAL(J))))
A2R2(J)=A2R2(J-1)+(Y2(J))*(EXP(-B2*(T(J-1)+1-TAL(J))))
X1R1(2)=X1R1(2)+A1R1(J)
X1R2(2)=X1R2(2)+A1R2(J)
X2R1(2)=X2R1(2)+A2R1(J)
X2R2(2)=X2R2(2)+A2R2(J)
X1=X1R1(2)+X1R2(2)
10 CONTINUE
15 X1=X1R1(2)+X1R2(2)
X1R1(1)=X1R1(2)
X1R2(1)=X1R2(2)
X2R1(1)=X2R1(2)
X2R2(1)=X2R2(2)
QD(I)=X1
20 CONTINUE

C
C CALCULA ENERGIA MÉDIA DIÁRIA PARA 50 ANOS
C
DO 30 I=3650,21900
QE(I)=QD(I)-1.2
IF(QE(I).LT.5.46) GO TO 31
IF(QE(I).GT.36.44) GO TO 32
GO TO 33
31 QE(I)=0.0
GO TO 33
32 QE(I)=36.44
33 E(I)=(QE(I)*29.51*9.81*0.897)/1000.0
30 CONTINUE

C
C CALCULA ENERGIA MÉDIA ANUAL CENSURADA NA ESCALA PARA 50 ANOS
C
JI=3650
JF=4015
DO 40 I=1,50
SOMA=0.0
DO 41 J=JI,JF
SOMA=SOMA+E(J)
41 CONTINUE
EMA(I)=SOMA/365.0
JI=JF+1
JF=JF+365
40 CONTINUE

C
C CALCULA MEDIA DE LONGO TERMO E DESVIO PADRAO DAS ENERGIAS
C
SOMA1=0.0
DO 50 I=1,50
SOMA1=SOMA1+EMA(I)
50 CONTINUE
EM=SOMA1/50.0
SOMA2=0.0
DO 51 J=1,50

```

```

        SOMA2=SOMA2+( ( EMA(J)-EM)**2)
51  CONTINUE
        VAREMA=SOMA2/49.0
        DPEMA=SQRT(VAREMA)
C
C      ESCREVE SAIDA DO PROGRAMA
C
        WRITE(4,60) EM,DPEMA
60  FORMAT('EM =',F10.2/,'DP =',F10.2/)
        DO 61 I=1,50
            WRITE(4,62) EMA(I)
62  FORMAT(F10.2)
61  CONTINUE
        STOP
        END
C
C      SUBROTINA RANDU - GERAÇÃO DE NÚMEROS ALEATÓRIOS UNIFORMES
C
        SUBROUTINE RANDU( ISEED,IY,RN)
            IY=ISEED*65539
            IF(IY) 5,10,10
5      IY=IY+2147483647+1
10     RN=IY
            RN=RN*.4656613E-9
            IF(RN.LT.0.0) RN=RN+1
            RETURN
        END

```

ANEXO 10 – PROGRAMA EM FORTRAN CHUVAS

```

C
C *****
C
C          PROGRAMA CHUVAS
C *****
C
C DESENVOLVIDO POR RODRIGO KERN EM JANEIRO DE 2010
C
C OBS.: CALCULA CHUVA MÉDIA, MÁXIMA E MÉDIA DOS PERÍODOS SEM CHUVA
C
C
C DIMENSION C(900,31),CD(30000),M(12),KCHUVA2(30000)
C CHARACTER arq*12
C DATA M/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/
C WRITE(*,*) 'LER O NOME DO ARQUIVO DE DADOS'
C READ(*,*) arq
C OPEN(3,file=arq,status='old')
C OPEN(4,file='resultado',status='old')
C
C LE AS CHUVAS MEDIAS DIARIAS DA SERIE HISTORICA
C
C   II=0
C   K=0
C   READ(3,01) IANOI,IANOF
01  FORMAT(2I5)
C   NA=(IANOF-IANOI)+1
C   NMES=NA*12
C   DO 20 I=IANOI,IANOF
C   IF((I/4)*4-I) 04,05,04
04  M(2)=28
C   GO TO 06
05  M(2)=29
06  DO 15 J=1,12
C   MES=M(J)
C   K=K+1
C   READ(3,07) (C(K,L),L=1,MES)
07  FORMAT(31X,31F8.0)
C   DO 10 L=1,MES
C   II=II+1
C   CD(II)=C(K,L)
10  CONTINUE
15  CONTINUE
20  CONTINUE
C   NDIAS=II
C
C CALCULA MEDIA DE LONGO TERMO, CHUVA MÁXIMA E MÉDIA DOS PERÍODOS SEM
CHUVA
C
C   CMED=0.0
C   CMAX=0.0
C   KCHUVA=0
C   DO 30 I=1,NDIAS
C   CMED=CMED+CD(I)
C   IF(CD(I).LE.CMAX) GO TO 31
C   CMAX=CD(I)
31  IF(CD(I).GT.0.0) GO TO 32
C   KCHUVA=KCHUVA+1
C   KCHUVA2(KK)=KCHUVA
C   GO TO 30
32  KK=KK+1
30  CONTINUE
C   CMED=CMED/(NDIAS*1.0)

```



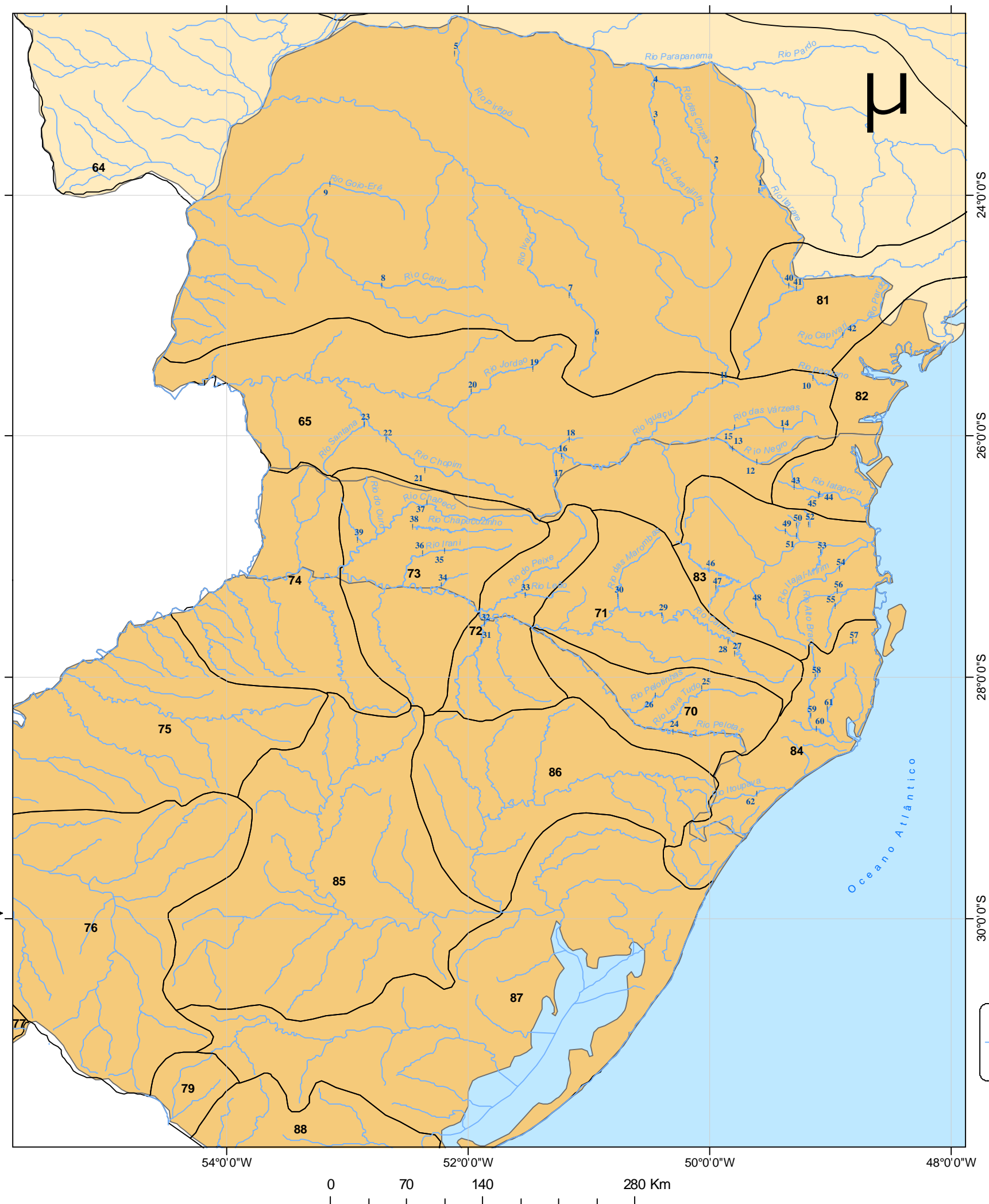
```

RECMEDE=(KCHUVA*1.0)/(NDIAS*1.0)
RECMAX=0.0
DO 33 J=1, KK
IF (KCHUVA2(J).LT.RECMAX) GO TO 33
RECMAX=KCHUVA2(J)
33 CONTINUE

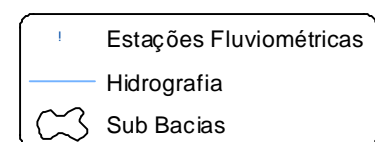
C
C   ESCRIBE SAÍDA DO PROGRAMA
C
WRITE(4,40) CMED,CMAX,RECMEDE,RECMAX
40 FORMAT('CHUVA MÉDIA DE LONGO PERÍODO = ',F10.2/, 'CHUVA MÁXIMA = ',
*F10.2/, 'MÉDIA DOS DIAS SEM CHUVA = ',F10.2/, 'MÁXIMO DE DIAS SEM CH
*UVA SEGUIDO = ',I10)
STOP
END

```

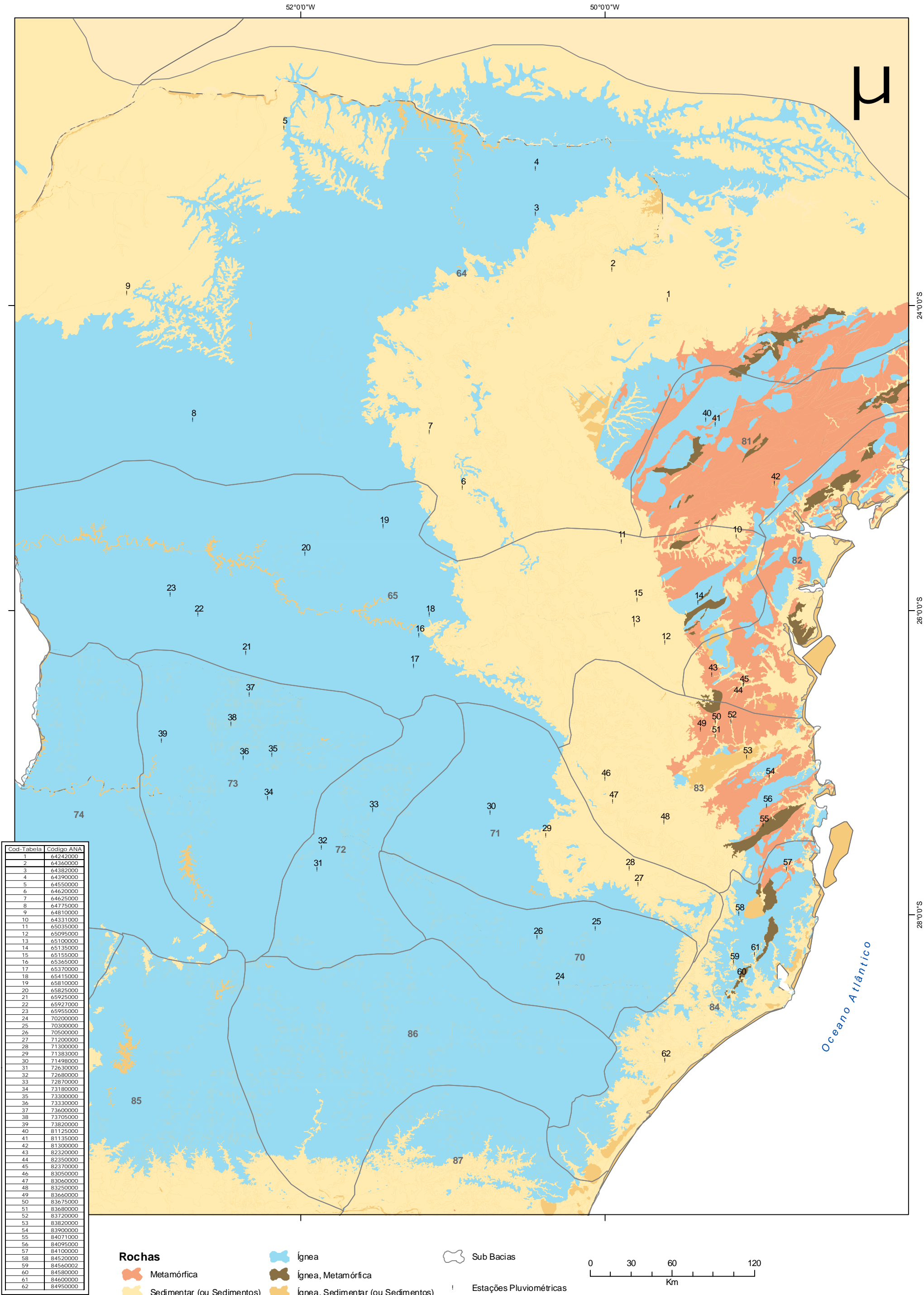
ANEXO 11 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO



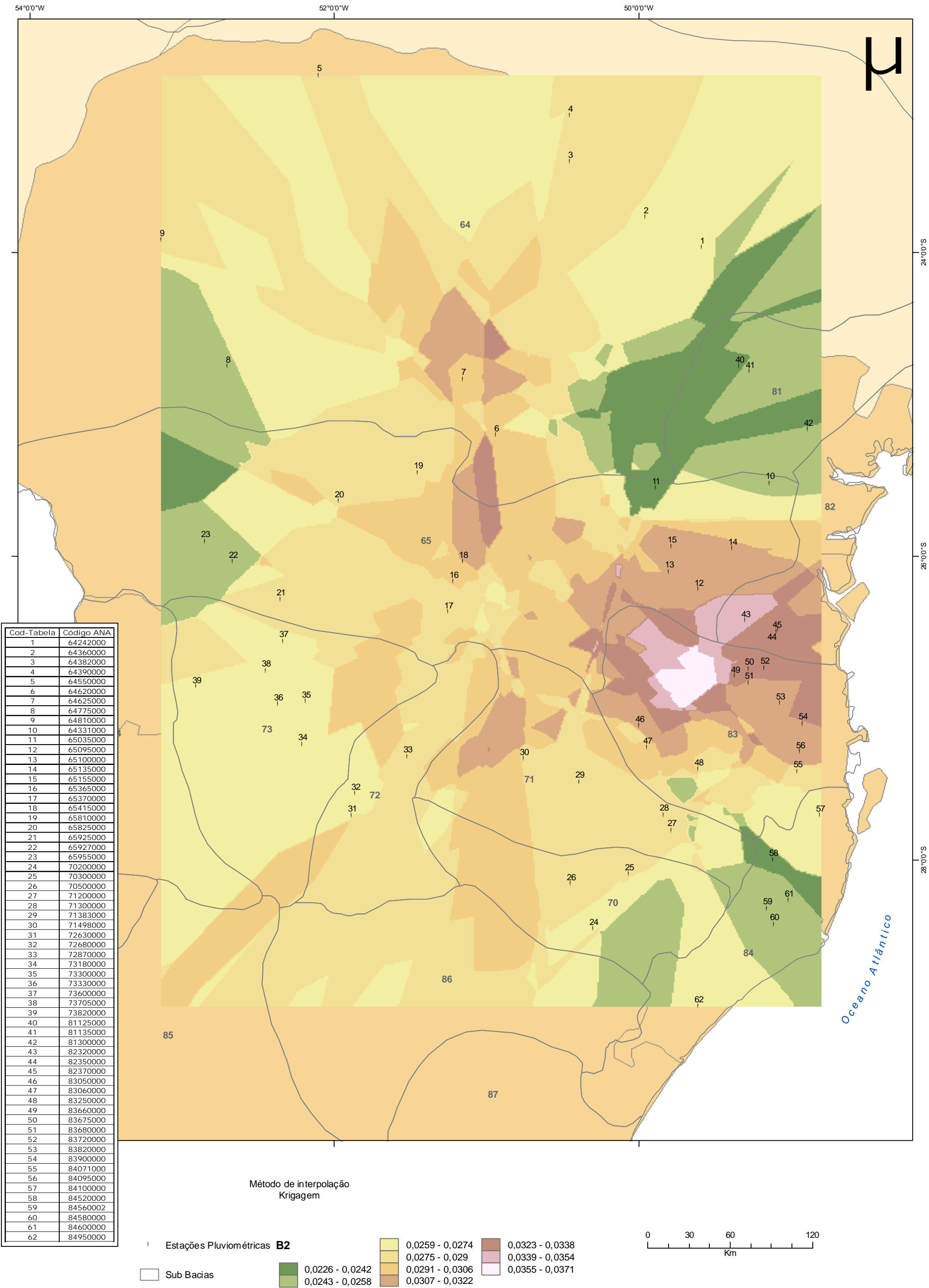
Cod-Tabela	Código ANA
1	64242000
2	64360000
3	64382000
4	64390000
5	64550000
6	64620000
7	64625000
8	64775000
9	64810000
10	64331000
11	65035000
12	65095000
13	65100000
14	65135000
15	65155000
16	65365000
17	65370000
18	65415000
19	65810000
20	65825000
21	65925000
22	65927000
23	65955000
24	70200000
25	70300000
26	70500000
27	71200000
28	71300000
29	71383000
30	71498000
31	72630000
32	72680000
33	72870000
34	73180000
35	73300000
36	73330000
37	73600000
38	73705000
39	73820000
40	81125000
41	81135000
42	81300000
43	82320000
44	82350000
45	82370000
46	83050000
47	83060000
48	83250000
49	83660000
50	83675000
51	83680000
52	83720000
53	83820000
54	83900000
55	84071000
56	84095000
57	84100000
58	84520000
59	84560002
60	84580000
61	84600000
62	84950000



ANEXO 12 – MAPA DE GEOLOGIA



ANEXO 13 – MAPA DE KRIGING PARA PARÂMETRO B2



ANEXO 14 – MAPA DE IDW PARA PARÂMETRO B2

